os neurônios
da leitura
como a ciência
explica a nossa
capacidade
de ler
penso
stanislas dehaene
MELHOR LIVRO CIENTÍFICO DO ANO SEGUNDO O *WASHINGTON POST*

culturais e neurológicos de forma clara e atraente."

– Oliver Sacks, M.D. – *Columbia University*

Neste livro esplêndido, Dehaene revela como décadas de estudos e de experiência com tecnologia de imagens cerebrais o ajudaram a desvendar o mistério da leitura e seus principais componentes. Ler Dehaene é um prazer, pois ele envolve o leitor de uma maneira quase literária."

– *The Wall Street Journal*

O ato de ler parece tão simples que muitas vezes acabamos esquecendo o quão fascinante é este processo. Como é possível que algumas marcas impressas evoquem um universo tão vasto de significados? Isso tudo é ainda mais surpreendente quando se considera que lemos com um cérebro de primata que evoluiu para servir a um propósito completamente diferente. Nesta investigação sem precedentes, a maior autoridade mundial no assunto revela uma nova compreensão sobre esse maravilhoso processo mental.

stanislas dehaene

Diretor do *Cognitive Neuroimaging Unit, Sanclay*
Professor no *Collège de France*
Membro da *French Academy of Science*

Tradução, consultoria e supervisão desta edição:
Leonor Scliar-Cabral, Professora Emérita da UFSC

NCIA COGNITIVA

N 978-85-63899-44-6

w.grupoa.com.br

grupo a
Conhecimento que transforma.

os neurônios da leitura

D322c Dehaene, Stanislas.
Os neurônios da leitura : como a ciência explica a nossa capacidade de ler / Stanislas Dehaene ; tradução: Leonor Scliar-Cabral. – Porto Alegre : Penso, 2012.
374 p. ; 23 cm.

ISBN 978-85-63899-44-6

1. Psicologia – Ciência cognitiva. I. Título.

CDU 159.95

Catalogação na publicação: Ana Paula M. Magnus – CRB 10/2052

stanislas dehaene

Diretor da Unidade de Neuroimagem Cognitiva.
Professor no Collège de France.
Membro da French Academy of Science.

os neurônios da leitura

como a ciência explica a nossa capacidade de ler

Consultoria, tradução e supervisão desta edição:
Leonor Scliar-Cabral
Professora Emérita da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

2012

Obra originalmente publicada sob o título
Reading in the Brain
ISBN 9780670021109

Capa: *Tatiana Sperhacke*

Imagem da capa: iStockphoto.com/Luis Portugal

Preparação do original: *Gabriela W. Linck*

Editora sênior – Ciências Humanas: *Mônica Ballejo Canto*

Editora responsável por esta obra: *Carla Rosa Araujo Cunha*

Editoração eletrônica: *Formato Artes Gráficas*

Reservados todos os direitos de publicação, em língua portuguesa, à
PENSO EDITORA LTDA., divisão do GRUPO A EDUCAÇÃO S.A.
Av. Jerônimo de Ornelas, 670 – Santana
90040-340 Porto Alegre RS
Fone (51) 3027-7000 Fax (51) 3027-7070

SÃO PAULO
Av. Embaixador Macedo Soares, 10.735 – Pavilhão 5 – Cond. Espace Center
Vila Anastácio – 05095-035 – São Paulo SP
Fone (11) 3665-1100 Fax (11) 3667-1333

SAC 0800 703-3444 – www.grupoa.com.br
IMPRESSO NO BRASIL
PRINTED IN BRAZIL

Agradecimentos

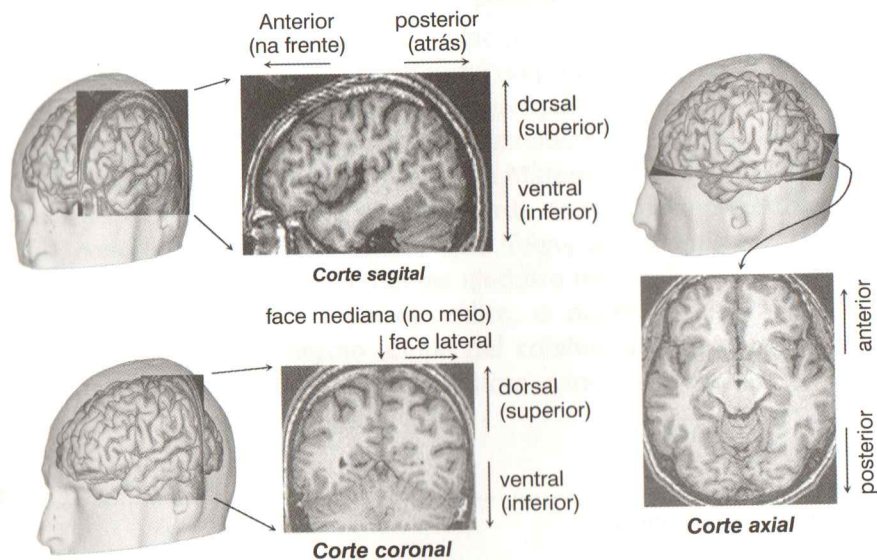
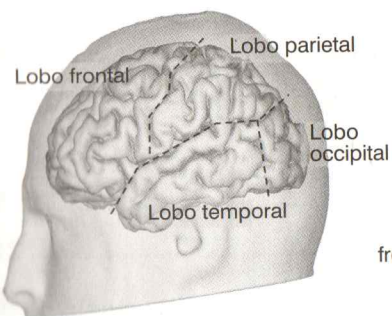
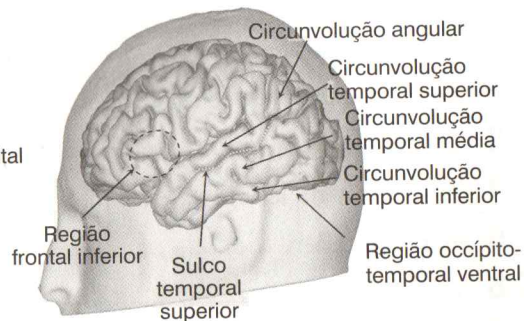
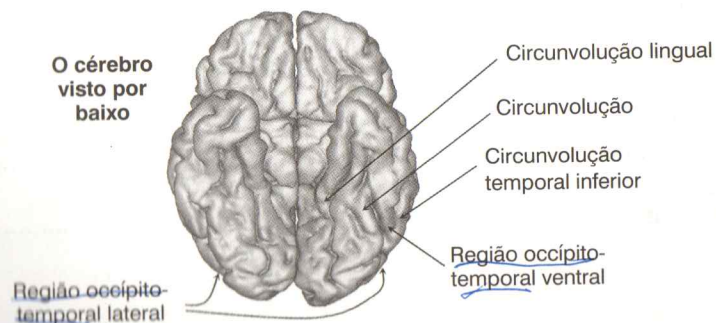
Os trabalhos que empreendi sobre a leitura e suas bases cerebrais foram realizados em colaboração estreita com meu amigo Laurent Cohen, professor de neurologia do Hospital La Pitié-Salpêtrière e grande especialista em leitura e suas perturbações. Foi sob o fogo de nossas discussões que forjamos um bom número das ideias aqui desenvolvidas. Agradeço, igualmente, a todos meus colaboradores e, notadamente, a Raphaël Gaillard, Antoinette Jobert, Sid Kouider, Denis Le Bihan, Stéphane Lehéricy, Jean-François Mangin, Nicolas Molko, Lionel Naccache, Jean-Baptiste Poline, Philippe Pinel, Mariano Sigman e Fabien Vinckier.

No curso desses anos, eu perdi a conta dos colegas que me guiaram pela imensa literatura sobre as palavras e seus males. Alguns deles me enviaram suas publicações, outros leram meus artigos no momento de sua publicação, muitas vezes, com um útil olhar crítico, outros ainda releram certos capítulos desse livro, ou me autorizaram a reproduzir imagens de seu trabalho. Seria impossível citá-los todos, mas sinto-me particularmente em dívida para com Irving Biederman, Catherine Billard, Brian Butterworth, Alfonso Caramazza, Jean-Pierre Changeux, Joe Devlin, Guinevere Eden, Uta Frith, Albert Galaburda, Jonathan Grainger, Ed Hubbard, Alumit Ishai, Nancy Kanwisher, Régine Kolinsky, Heikki Lyytinen, Bruve McCandliss, Yasushi Miyashita, José Morais, John Morton, Kimihiro Najamura, Tatiana Nazir, Eraldo Paulesu, Monique Plaza, Michel Posner, Cathy Price, Franck Ramus, Marcin Szwed, Sally e Bennett Shaywitz, Dan Sperber, Liliane Sprenger-Charolles, Ovid Tzeng e Joe Ziegler.

A organização desse livro se beneficiou grandemente da releitura atenta por Odile Jacob a quem desejo agradecer calorosamente. Cyrille Bégorre-Bret e Émilie Barian também colaboraram. Do mesmo modo, agradeço a Roger Chartier que me ajudou a compreender certos aspectos da história da leitura, no curso de um diálogo apaixonante. Devo-lhe várias citações enriquecedoras do texto e, notadamente, o poema de Francisco de Quevedo que figura em epígrafe. Christian Marendaz me ajudou a utilizar seu software de filtragem que simula a perda da resolução da retina, com o qual concebi a Figura 1.1. Enfim, Ovid Tzeng me pesquisou a história chinesa da Figura 1.3 e Xiaolin Sun me ajudou a traduzi-la.

Uma menção toda especial, enfim, a minha esposa, Ghislaine Dehaene-Lambertz, ao mesmo tempo fiel colaboradora, *mater familias*, fonte constante de encorajamento e leitora crítica infatigável contínua, sem a qual nada seria possível.

Sumário

Saber orientar-se no cérebro

Prefácio

Jean-Pierre Changeux

Desde a emergência das neurociências nos anos de 1970, foram alcançados progressos consideráveis no conhecimento de nosso cérebro. A decifração do genoma humano revelou todas as moléculas que o compõem. O desenvolvimento fulgurante dos métodos de imagem cerebral tornou acessível a identificação das bases neurais de nosso psiquismo. Resta, contudo ainda, articular entre si os níveis múltiplos encaixados de organização de nosso cérebro e efetuar uma síntese pertinente que nos permita compreender os fundamentos neuronais do pensamento consciente ou da criação.

Sabe-se desde Aristóteles que, se o homem é um animal racional, ele é também, por natureza, um animal social que se comunica através da linguagem. Ele soube, desde suas origens, criar uma memória de seus feitos e gestos, de seus símbolos e de seus mitos, de seus saberes e de suas tradições, e transmiti-la de geração em geração. Desenvolveu uma cultura, ou melhor, culturas.

Sem dúvida, em virtude do dualismo platônico, a tradição ocidental estabeleceu uma separação – que eu não hesitaria em qualificar como trágica – entre as ciências do homem e as ciências biológicas, a tal ponto que por muito tempo houve um acordo em opor o biológico ao cultural, a natureza à cultura, os genes à aprendizagem. Um dos pontos fortes das neurociências contemporâneas – a obra de Stanislas Dehaene o revela otimamente – é o de haver demonstrado que no homem, o cultural não pode ser pensado sem o biológico e que o cerebral não existe sem uma impregnação poderosa do ambiente. A cisão platônica entre o cére-

bro e o espírito fica abolida em benefício da construção de uma arquitetura cerebral comum, fonte de um imenso universo combinatório entre genes e ambiente. Além disso, um dos traços mais impressionantes do cérebro do homem é que, desde as primeiras etapas de seu desenvolvimento e já no seio materno, sua organização funcional apresenta uma plasticidade excepcional que lhe permitirá adquirir a escrita.

A cultura não se confunde com a escrita, longe disso. Os povos sem escrita produziram inúmeras invenções culturais que servem de base para nossa civilização. Encontram-se entre essas obras e seus "intermediários mentais" ou signos, para retomar os termos de Ignace Meyerson, as obras de arte, visuais ou musicais, os rituais e seus sistemas simbólicos, os códigos de conduta, essenciais ao fortalecimento da vida em comum do grupo social. Muitos não requerem a linguagem verbal, mas se propagam, são transmitidos, perpetuam-se pelos gestos e pelas mímicas, pelos múltiplos testemunhos visuais ou sonoros da memória coletiva, mas também pelas inscrições em materiais mais estáveis que o tecido nervoso: os pigmentos minerais, a terra, a madeira, a pedra, o marfim... "Não há signo sem matéria", escrevia Meyerson.

Por sua vez, o uso da linguagem falada fez progredir a conquista do homem sobre si mesmo e sobre suas obras, propiciando-lhe o acesso a um enriquecimento suplementar maior: tendo acesso ao domínio sonoro, foi possível categorizar e classificar, designar e nomear, unir o som ao sentido, o significado ao significante. A extrema compactação e as múltiplas propriedades da designação sonora facilitaram, com certeza, a articulação dos objetos de sentido no espaço consciente. Permitiram também a organização, sob a forma ritmada e imaginária, da poesia e, sob a forma lógica e racional, do conhecimento objetivo e, em seguida, da ciência. Como o acentua Gerald Edelman, o uso da linguagem permitiu o acesso a um nível superior de consciência. Uma compreensão do mundo imensamente diversificada pôde ser elaborada através da linguagem. Mas, para o homem sedentário, fez-se necessário, dia a dia, torná-la cada vez mais visível e transmissível que pela fala. E também de conservá-la com fidelidade, para além da vulnerabilidade da matéria cerebral e da sobrevivência do indivíduo. Assim, para suprir as falhas da memória, o homem inventou a escrita, aproximadamente há 5.000 anos. Seu cérebro permitiu-lhe a incorporação dessa invenção, enquanto o do macaco não lhe permitiu fazê-la: o homem aprende a ler com seu cérebro.

Desde o *Sahelanthropus* e o *Australopithecus*, nossos mais longínquos ancestrais conhecidos, o cérebro do *Homo Sapiens* passou por uma evolução profunda, seja no tamanho e no número de neurônios, seja pela forma e sua organização. Assiste-se, em especial, a uma surpreendente expansão do córtex cerebral e, mais particularmente, do córtex pré-frontal. Eminente filósofo do Iluminismo, Helvetius, lamarkista antecipado, acreditava em que uma aprendizagem adequadamente enriquecida permitiria "instruir" um cérebro de macaco em cérebro de homem. Seguiu-se uma controvérsia acirrada com Diderot, que não aceitava a ideia e que, sem negar as contribuições essenciais de uma aprendizagem instrutiva, assinalava a diferença intransponível das predisposições cerebrais, próprias da espécie, entre o macaco e o homem. A tradição empirista que ilustra Helvetius, e que se radica nos tratados de Aristóteles e de Locke, permanece popular no campo das ciências sociais e entre os leitores de Jean-Jacques Rousseau. Ela aparece mesmo com frequência como politicamente correta, fazendo crer na ausência de diferenças individuais e na onipotência de uma aprendizagem global e universal. Do lado oposto, a partir de Platão e Descartes, as teses inatistas ressurgem, constantemente sob a pluma dos filósofos anglo-saxões, linguistas ou geneticistas, e mesmo na política. Para Chomsky, a gramática gerativa,[1] baseada na distinção entre competência e desempenho, seria a expressão de dispositivos "geneticamente determinados", como o seria a organização do sistema visual. O problema é que a relação entre as disposições genéticas e a organização do sistema visual está longe de ser simples e, sobretudo, elucidada! A genética dos distúrbios da linguagem falada, muito promissora, revela a importância do gene FoxP2, que alguns se apressam, com Steven Pinker, de qualificar como o "gene da linguagem". Contudo, ele também está presente no animal... que não fala!

Muito mais difícil é o problema levantado pela comparação entre os genomas dos ratos e do macaco, agora completamente sequenciados, com os do homem. Paradoxalmente, esses genomas se assemelham muito, já que contêm o mesmo número de genes e, às vezes, menos no homem que no rato! As semelhanças estruturais são igualmente importantes, já que a sequência do genoma no chimpanzé não difere da do homem senão em 1,2% em média. Em outros termos, no curso da evolução, a complexidade do genoma varia pouco, comparada à do cérebro.

[1] Cf. Noam Chomsky. *Aspectos da Teoria da Sintaxe.* Traduzido por J. A. Meireles e E. P. Raposo. Coimbra: A. Amado, 1975.

Como explicar, então, que mudanças gênicas tão modestas envolvam uma reorganização tão dramática da arquitetura cerebral? Os genes que têm efeitos "globais" como os que envolvem a microcefalia, controlam o número total das divisões dos precursores de nossas células nervosas. Outros, por sua expressão quantitativa, contribuem para as mudanças da "forma" e da superfície dos mapas cerebrais, em particular, para a expansão extraordinária do córtex pré-frontal. Isso seria suficiente para resolver o paradoxo? Segundo penso, a resposta é não!

É preciso pensar de outro modo, refletir em processos de outro tipo, de natureza "epigenética", que permitam uma aliança forte entre os genes e a experiência na construção da complexidade cerebral. Como ponto de partida, é preciso notar que, do rato ao macaco, até chegar ao homem, o córtex cerebral evoluiu, sua superfície aumentou, incrementando assim a *variabilidade* da rede neuronal, bem como suas capacidades de adaptação às influências do ambiente. Por outro lado, os milhões de mil milhões de conexões sinápticas do cérebro do homem não se estabelecem numa só etapa, como as reunimos num computador, mas progressivamente, durante longos anos de maturação do cérebro desde o feto até o homem adulto. A duração de vida do homem primitivo era da ordem de 30 anos. Da concepção à adolescência, ele passava assim a metade de sua vida construindo seu cérebro! Esta "epigênese" pós-natal desempenhará um papel decisivo na fixação da impressão cultural. Com efeito, o estado da atividade da rede, espontânea ou suscitada pela interação com o mundo exterior, irá intervir na construção da conectividade cerebral. O depósito dos extratos sucessivos que formam as arborizações neuronais é modelado no curso dos *jogos cognitivos* do recém-nascido e do infante pelos sinais do ambiente físico, social e cultural. A margem de variabilidade oferecida por um envelope genético aumentado permite o que podemos denominar uma "apropriação" das redes dos neurônios em desenvolvimento e sua amplificação sob a forma de "circuitos culturais". A novidade entra no cérebro humano incompletamente especificada pelo seu equipamento genético e assim a leitura se inscreve no cérebro.

A obra de Stanislas Dehaene é importante, primeiro, pela apresentação que faz de seus próprios trabalhos sobre as neurociências da leitura, que começam com o reconhecimento das letras pela retina e extração dos componentes de base das palavras, como as sílabas. Depois, nosso sistema visual entra em ação com a participação dos neurônios que encontramos no macaco, mas especializados na resposta às formas elementares mais simples. A esta primeira decifração sucede uma análise dupla: a do som e a do sentido. Stanislav Dehaene nos faz participar da apaixonante descoberta dos circuitos nervosos mobilizados para a leitura. No final do século XIX, Jules Déjerine tinha descoberto que uma lesão localizada do cérebro acarretava um déficit seletivo da leitura sem que a escrita fosse afetada, assim como nenhuma das demais capacidades. Ele propôs, então, a existência de um "centro visual das letras", localizado na circunvolução angular, na base da região parietal esquerda. Na ocasião, ele interpretava seus dados sob a ótica de uma via linear da leitura. Hoje, concebemos mais que isto, uma rede complexa e abundante que implicaria as vias visuais *e* as vias auditivas e, mais especificamente, as representações dos sentidos, dos sons e da articulação das palavras.

Esses traços da topologia neural nos instruem igualmente sobre a forma como a criança vai aprender o sistema escrito. O método global, tão controvertido, é definitivamente posto em cacos por Stanislav Dehaene, que pleiteia a "unificação das pesquisas pedagógicas, psicológicas e neurocientíficas". Uma neurociência da aprendizagem da leitura se torna possível e nos permite, enfim, progredir numa problemática frequentemente muito ideologizada! O rabiscador do fundo da classe é, enfim, reabilitado e apoiado como se deve. Por exemplo, a dislexia, que preocupa tantos pais e avós, é abordada aqui de forma frontal. Esse defeito de manipulação mental dos fonemas resulta, de fato, de anomalias anatômicas do lobo temporal, estabelecendo a partir disto a predisposição genética para a dislexia. Mas quem afirma genético, não afirma irremediável. Muito ao contrário, uma triagem precoce permitirá o desenvolvimento, através de exercícios de aprendizagem apropriados no computador, de uma estratégia compensatória. Por fim, as crianças cometem seguidamente erros de leitura ou de escrita em espelho, no início da aprendizagem da leitura. Nosso sistema visual se desenvolve espontaneamente de forma simétrica e a criança deverá ultrapassar este viés para aprender o sistema escrito. Processos importantes de plasticidade neural intervêm para estabelecer os circuitos do adulto. Mais impressionante ainda: a criança da qual o hemisfério esquerdo foi retirado aos 4 anos, em virtude de um tumor invasivo, pode adquirir até os 11 anos a língua e aprender o sistema escrito, mas com o hemisfério direito, em vez do esquerdo. Uma importante amplificação compensatória dos circuitos existentes no hemisfério direito permitirá à criança, ao tornar-se adulta, ler e escrever, a despeito de uma lesão inicial maior.

As conquistas recentes de nossos conhecimentos sobre a aprendizagem da leitura abrem perspectivas capitais em duas direções: as ciências humanas, bem entendidas, com a perspectiva de uma compreensão renovada – neurocultural – da evolução das culturas, e a biologia e a farmacologia dos processos de seleção, de amplificação e reaferenciação das conexões interneuronais tanto no curso do desenvolvimento quanto no adulto.

As incidências para nossas sociedades do conjunto desses trabalhos claramente descritos em *Os neurônios da leitura* são consideráveis, porque, conforme o escreve Stanislav Dehaene, "compreender melhor o órgão que nos faz ler, transmitir melhor a nossas crianças esta invenção notável que é a leitura, tornar estes conhecimentos úteis para o maior número de pessoas, estes são os desafios para o futuro".

Introdução

A ciência da leitura

Retirado na paz destes desertos,
com poucos, porém doutos livros juntos,
vivo em conversação com os defuntos,
e os mortos eu escuto, olhos despertos.

Francisco de Quevedo

Vocês principiam a leitura deste livro. Sem que tenham consciência, seu cérebro está realizando uma extraordinária proeza. Neste mesmo momento, seus olhos percorrem a página com movimentos precisos e rápidos. Quatro ou cinco vezes por segundo, seu olhar para numa palavra que reconhece quase sempre sem esforço. Como é que algumas marcas negras sobre o papel branco, impressas em sua retina, conseguem evocar um universo de cores e de emoções, como registraram tão bem as palavras de Nabokov no início de *Lolita*?

"Lolita, luz da minha vida, fogo de meus rins. Meu pecado, minha alma. Lo-li-ta: a ponta da língua faz três pequenas pressões ao longo do palato para virem, as três, bater contra os dentes. Lo. Li. Ta."

Atrás de cada leitor se esconde uma mecânica neuronal admirável de precisão e eficácia, da qual começamos a compreender a organização.

Nos últimos 20 anos nasceu uma autêntica ciência da leitura. Os progressos das neurociências e da psicologia cognitiva conduziram a uma decodificação dos mecanismos neuronais do ato de ler. Graças à imagem

por ressonância magnética, hoje, são necessários alguns minutos para visualizar as regiões cerebrais ativadas quando deciframos as palavras.

O funcionamento íntimo dessas operações mentais tornou-se acessível à experimentação. No laboratório, seguimos passo a passo o percurso das palavras desde a análise da sequência das letras até o reconhecimento visual, o cálculo da pronúncia e o acesso à significação.

Sobre esta base empírica, uma teoria da leitura começa a se vislumbrar. Ela descreve como funcionam os circuitos corticais herdados de nosso passado evolutivo e que, bem ou mal, foram adaptados para a leitura. Ela explica como as redes de neurônios aprendem a ler: por quais mecanismos, chegados à idade adulta, lemos com tanta eficácia; de onde provém que algumas crianças sofram de dislexia e como podemos considerar a possibilidade de remediá-la.

O objetivo deste livro é fazê-los compartilhar, em termos simples, esta ciência da leitura e os avanços experimentais que a sustentam. No séc. XXI, pode se aceitar que uma pessoa culta conheça melhor o funcionamento de seu carro ou de seu computador do que de seu próprio cérebro? Nosso sistema escolar, por muito tempo submetido aos riscos da intuição destes ou daqueles que decidem, não pode mais aceitar submeter-se a reforma após reforma sem que os conhecimentos das neurociências cognitivas não sejam levados em conta. Pais, educadores e políticos, ademais, já compreenderam muito bem: muitos se entusiasmam pelas novas imagens do cérebro... com o risco muitas vezes de desconhecer os limites ou de caricaturar as implicações para o ensino. Muito recente, a ciência da leitura jamais foi ensinada. Minha ambição é a de fornecer aqui alguns pontos de referência a fim de que não se possa mais ignorar a complexidade das operações de que nosso cérebro lança mão para ler.

Todos sabem que a aprendizagem da leitura não se efetua suavemente. Todas as crianças, seja qual for a língua, encontram dificuldades no momento de aprender a ler: estima-se que 10%, quando adultos, não dominam os rudimentos da compreensão textual*. São necessários anos de trabalho antes que as engrenagens cerebrais da leitura, bem lubrificadas, possam, enfim, esquecer. Por que tal dificuldade? Quais são as profundas modificações que a aprendizagem da leitura impõe aos circuitos do cérebro? Podemos provar que certas estratégias de aprendizagem são mais bem adaptadas que outras à organização cerebral da criança? Quais razões explicam que o método global não seja o mais eficaz? A todas estas questões e, mesmo se resta muito ainda por descobrir, a nova ciência da leitura começa a fornecer respostas precisas.

Ela esclarece igualmente as patologias da leitura. No decorrer das páginas, tomaremos conhecimento de pacientes que, após um acidente vascular, perdem repentinamente a faculdade de ler. Abordaremos, igualmente, a questão da dislexia, um vasto problema para a sociedade, cujas origens começam a ser identificadas. No momento, é incontestável que o cérebro de certos disléxicos não é exatamente igual ao de outros; vários genes de susceptibilidade à dislexia foram identificados, a maior parte altera a migração dos neurônios antes mesmo do nascimento e tal fato poderia explicar as anomalias anatômicas e funcionais que mostra o cérebro das crianças disléxicas. Contudo, não se aceita a resignação: novas estratégias terapêuticas, baseadas sobre a reeducação intensiva dos circuitos da linguagem e da leitura estão prestes a surgir e a imagem cerebral mensura passo a passo os progressos que elas induzem no cérebro da criança.

De todas estas pesquisas emerge uma nova esperança: a de ver aparecer uma neurociência verdadeira da educação, na fronteira entre a psicologia e a medicina, capaz de explorar as novas imagens do cérebro a fim de atingir o ótimo nas estratégias de ensino e de adaptá-las a cada cérebro de criança ou adulto.

O ENIGMA DO PRIMATA QUE SABE LER

Nossa capacidade de aprender a ler coloca um curioso enigma, que denomino o paradoxo da leitura: como pode ser que nosso cérebro de *Homo sapiens* pareça finamente adaptado à leitura, quando esta atividade, inventada em todos seus componentes, não existe senão há alguns milhares de anos? A escrita nasceu há aproximadamente 5.400 anos entre os babilônios e o alfabeto propriamente dito não tem mais que 3.800 anos.

Estas durações não são mais do que um instante aos olhos da evolução. Nosso genoma não teve tempo de se modificar para desenvolver os circuitos cerebrais próprios à leitura. Nosso cérebro de leitor se constrói, portanto, com a ajuda de instruções genéticas idênticas àquelas que, há dezenas de milhares de anos, permitiam a nossos ancestrais, caçadores-coletores, subsistirem: nós partilhamos as emoções de Nabokov e a teoria de Einstein com um cérebro de primata, concebido para a sobrevivência numa savana africana. Nada, em nossa evolução, nos preparou

* Conforme o *Boletim INAF* (2007, dez.), em 2007, na faixa etária dos brasileiros de 15 a 64 anos temos: 7% de "analfabetos absolutos"; no nível rudimentar, temos 25%; no nível básico, temos 40% e apenas 28% consegue o nível pleno.

para receber as informações linguísticas pela via do olhar. Contudo, a imagem cerebral nos mostra, no leitor adulto, mecanismos altamente evoluídos e adaptados às operações requeridas pela leitura.

Encontramo-nos diante de uma situação comparável àquela evocada pelo pastor William Paley, em 1802, em sua *Teologia Natural*. Imaginem, escrevia ele, que, ao atravessar uma terra deserta, eu encontre um relógio completo, com suas engrenagens e seus mecanismos claramente destinados a fornecer a hora. Não seria a prova da existência de um relojoeiro, capaz de uma intenção criadora, que o concebeu para esse uso? Do mesmo modo, argumentava Paley, os planos de organização dos seres vivos, tais como os surpreendentes mecanismos do olho, são claramente concebidos para um fim. Sua existência fornece, pois, a prova de que um Grande Relojoeiro produz a obra da Natureza.

Charles Darwin ilustra a refutação à argumentação de Paley: a seleção natural, a única responsável pela organização dos seres vivos, é perfeitamente capaz de produzir estruturas organizadas, que parecem dirigidas a um fim. Um exame atento mostra, porém, que tal organização está longe de atingir a perfeição que se esperaria de um arquiteto onipotente. Toda uma série de anomalias demonstra que a evolução não é dirigida por uma inteligência criadora, mas segue vias ao azar, simplesmente selecionadas para seu valor de sobrevivência. É assim, por exemplo, que, na retina, os vasos e os nervos estão dispostos *diante* dos fotorreceptores, bloqueando uma parte da luz e criando, num ponto, uma zona insensível à luz (que denominamos a mancha cega). Seguindo Darwin, Steven Jay Gould proporcionou inúmeros exemplos de tais imperfeições da seleção natural, dentre os quais o do famoso polegar do urso panda[1]. O evolucionista Richard Dawkins[2] igualmente descreveu por quais vias plausíveis os delicados mecanismos do olho ou da asa do colibri puderam emergir da ação desprovida de finalidade do "grande relojoeiro cego" que é a evolução.

Contudo, o problema colocado pela leitura é em parte diferente daquele evocado pelo pastor Paley. As delicadas engrenagens da mecânica cerebral que nos permitem ler são tão complexas quanto as do relógio abandonado numa terra deserta. Toda sua organização se orienta em direção a um fim aparente: identificar as palavras escritas com precisão e rapidez. Porém, nem a hipótese de um criador inteligente, nem a de uma evolução por seleção natural parecem explicá-la. Simplesmente faltou tempo para que uma evolução concebesse os circuitos especializados para a leitura. Então, como um cérebro do primata chega a ler – e a ler de modo tão eficiente? Como nossas áreas cerebrais, provindas de milhões de anos de evolução num mundo sem escrita, chegam a se adaptar aos problemas específicos que coloca o reconhecimento das palavras?

A UNIDADE BIOLÓGICA E A DIVERSIDADE DAS CULTURAS

A leitura não é senão um exemplo das atividades culturais surpreendentemente diversas que a espécie humana criou numa dezena de milhares de anos. À primeira vista, um fosso parece separar as invenções culturais da biologia do cérebro. É a razão pela qual a questão das aprendizagens como a leitura é raramente colocada em termos biológicos. Raros são os pesquisadores em ciências sociais que consideram pertinentes ao seu domínio de estudo a biologia do cérebro e a teoria da evolução.

A maior parte adere a um modelo implícito do cérebro que denominarei aqui o da plasticidade generalizada e do relativismo cultural. De acordo com eles, o cérebro é um órgão tão flexível e maleável que ele não restringe em nada a amplitude das atividades humanas. É uma ideia antiga, que encontramos nas obras dos filósofos empíricos britânicos como John Locke, David Hume e George Berkeley: o cérebro do homem seria comparado a uma ardósia virgem, onde se imprimiriam, através do filtro dos cinco sentidos, os dados do ambiente natural, mas também cultural.

Revisitada por numerosos teóricos do relativismo cultural no século XX, esta visão do homem recoloca em questão a ideia mesma de uma natureza humana. A natureza humana não se imporia a nós enquanto espécie biológica. Ela se construiria progressivamente, de modo maleável, por imersão numa dada cultura. Assim, as crianças nascidas na cultura inuit, entre os índios mundurucus da Amazônia ou numa família judaica do *Upper East Side* de New York, não partilhariam quase de pontos em comum. A percepção da cor, a apreciação da música ou o senso moral seriam eminentemente variáveis de uma cultura a outra – só mesmo a capacidade de aprender seria característica de nossa natureza humana. A questão das bases cerebrais dos objetos culturais tais como a leitura não seria, pois, pertinente: liberado dos entraves da biologia, o cérebro humano, diferentemente do de outras espécies animais, seria capaz de absorver toda forma de cultura, fosse qual fosse sua variação.

O que pretendo mostrar aqui é a que ponto os dados recentes da imagem cerebral e da neuropsicologia recusam esse modelo simplista das relações entre o cérebro e a cultura. Examinando a organização cerebral dos circuitos da leitura, veremos a que ponto é falsa a imagem de um cé-

rebro virgem, infinitamente maleável que se contentaria em absorver os dados de seu ambiente cultural. Nosso cérebro é evidentemente capaz de aprendizagem, sem o que não poderia incorporar as regras próprias da escrita latina, japonesa ou árabe. No entanto, esta aprendizagem é limitada.

Em todos os indivíduos, em todas as culturas do mundo, a mesma região cerebral, com diferenças mínimas de milímetros, intervém para decodificar as palavras escritas. Seja a leitura em francês ou chinês, a aprendizagem da leitura percorre sempre um circuito idêntico.

Sobre a base destes dados, sou levado a propor outro modelo, que denomino "reciclagem neuronal", radicalmente oposto ao do relativismo cultural. De acordo com esta hipótese, a arquitetura de nosso cérebro é estreitamente enquadrada por fortes limites genéticos. Contudo, os circuitos do córtex visual dos primatas possuem certa margem de adaptação ao ambiente na medida em que a evolução os dotou de uma plasticidade e de regras de aprendizagem. Os mesmos neurônios que reconhecem a forma dos rostos ou das mãos podem igualmente desviar suas preferências a fim de responder a objetos artificiais, a formas fractais ou mesmo às letras. No curso da evolução dos primatas, sem dúvida, era vantajoso não especificá-los de forma muito rígida, mas deixar-lhes a possibilidade de se adaptar ao ambiente. Assim, nossos genes seguidamente não especificam senão um jogo de possibilidades, uma arquitetura de "pré-representações", para retomar o termo de Jean-Pierre Changeux[3]. Formulo, então, a hipótese de que as invenções culturais como a leitura se inserem nesta margem de plasticidade. Nosso cérebro se adapta ao ambiente cultural, não absorvendo cegamente tudo o que lhe é apresentado em circuitos virgens hipotéticos, mas convertendo a outro uso as predisposições cerebrais já presentes. Nosso cérebro não é uma *tabula rasa* onde se acumulam construções culturais: é um órgão fortemente estruturado que faz o novo com o velho.

Para aprender novas competências, reciclamos nossos antigos circuitos cerebrais de primatas – na medida em que tolerem um mínimo de mudança.

ALGUNS MARCOS DA LEITURA

No decorrer dessas páginas, veremos como o modelo da reciclagem neuronal dá conta das competências humanas para a leitura, mas também de seus limites e mesmo de sua história. Começarei por dissecar os mecanismos da leitura no adulto, primeiro, sob o ângulo psicológico, depois, examinando quais áreas cerebrais se ativam quando lemos, para enfim descer ao nível das redes de neurônios que reconhecem as letras e as palavras. Abordarei essa dissecação sob um ângulo resolutamente mecanicista, tentando demonstrar as engrenagens do cérebro de um leitor, como o reverendo Paley se propunha fazê-lo com o relógio encontrado na terra deserta. Contudo, não encontraremos um sistema ideal, tal como o poderia conceber o Grande Relojoeiro onisciente. Descobriremos pequenas imperfeições que refletem o compromisso que realiza nosso cérebro entre as necessidades da tarefa e os circuitos de que dispõe para cumpri-las.

As particularidades do sistema visual dos primatas, que começa a se tornar bem conhecido, explicam por que as operações que nosso cérebro realiza não têm nada em comum com um reconhecimento "global" da forma das palavras. A visão dos primatas não funciona por reconhecimento global – muito pelo contrário, o objeto visual explode em miríades de pequenos fragmentos que nosso cérebro se esforça em recompor, traço por traço, letra após letra. Reconhecer uma palavra consiste, primeiramente, em analisar essa cadeia das letras e aí descobrir as combinações das letras (sílabas, prefixos, sufixos, radicais das palavras), para enfim associá-las aos sons e aos sentidos. É somente porque as operações foram automatizadas em anos de aprendizagem e porque se desenvolvem em paralelo, fora de nossa consciência, que pôde persistir durante tantos anos a hipótese *naïve* de uma leitura imediata e global.

O paradoxo da leitura sublinha o fato indubitável de que nossos genes não evoluíram para nos permitir aprender a ler. Não vejo senão uma só solução. Se o cérebro não teve tempo para evoluir sob a pressão dos limites da escrita, então, foi a escrita que evoluiu a fim de levar em conta os limites de nosso cérebro. O modelo da reciclagem neuronal nos conduzirá assim a revisitar a história da escrita, desde os primeiros símbolos das culturas pré-históricas até a invenção do alfabeto. Nós aí encontraremos os traços de uma incessante manufatura evolutiva que adapta sem descanso os objetos da escritura aos limites de nosso cérebro. Conforme verificaremos, todas as escritas do mundo partilham numerosos traços que refletem os limites de nossos circuitos visuais.

Perseguindo a ideia de que nosso cérebro não é feito para a leitura, mas a de que ele se reconverteu de alguma maneira, nós nos voltaremos em seguida à forma como as crianças aprendem a ler. Uma conclusão recente das pesquisas em neurociências cognitivas é a de que não existe uma dezena de maneiras de converter o cérebro de um primata

em leitor experiente. De fato, não existe senão uma solução, uma só via de aprendizagem que analisaremos em detalhe. Evidentemente seria desejável que nossas escolas nela se inspirassem para levar ao ótimo o ensino da leitura e reduzir os índices de fracasso.

Incidentalmente, seremos levados a interpretar certos aspectos impressionantes da aprendizagem da leitura. Por que os leitores jovens escrevem frequentemente em espelho, da direita para a esquerda? Compreenderemos por que tais erros, contrariamente a uma opinião corrente, não são os primeiros sintomas da dislexia, mas a consequência natural da organização das áreas visuais. Entre a maioria das crianças, a dislexia parece ser devida a outra anomalia, situada no tratamento dos sons da fala. Nós descreveremos os signos precursores, as bases cerebrais e as últimas descobertas da genética.

Chegaremos enfim ao seguinte fato surpreendente de que somente nós, entre os primatas, somos capazes de invenções culturais tão sofisticadas quanto a leitura. No exato oposto da visão espalhada entre as ciências sociais pela qual nosso cérebro, virgem de toda a estrutura, não imporia nenhum limite às culturas humanas, o exemplo da leitura mostra que a organização cultural está inextricavelmente ligada à de nosso cérebro.

No curso de sua longa história cultural, a humanidade descobriu que poderia reconverter seu sistema visual a fim de reconhecer a escrita. Examinarei brevemente a possibilidade de submeter outros traços da cultura humana a uma análise similar. As matemáticas, as artes e as religiões não são talvez senão dispositivos modalizados por séculos de evolução cultural a fim de conquistar rapidamente os circuitos de nossos cérebros de primatas.

Contudo, persiste um enigma. Nenhuma espécie além da nossa inventou símbolos falados ou escritos. Entre os chimpanzés, a lista de traços culturais se reduz a algumas dezenas de elementos. Entre todos os primatas, por que somente nossa espécie é dotada de uma rica dimensão cultural? Esboçarei em conclusão algumas pistas para a reflexão em torno desta questão fascinante. Dois conceitos recentes, o da "teoria do espírito" – a capacidade de imaginar o que pensam nossos congêneres – e o de "espaço de trabalho consciente" – uma rede neuronal onde as ideias se recombinam em sínteses novas – poderiam contribuir para abarcar a singularidade cultural do espírito humano.

Ao final desta análise, a variabilidade cultural da espécie humana não nos parecerá mais tão vasta. Talvez a impressão da infinita variedade das culturas não é senão uma ilusão ligada à nossa incapacidade para imaginar formas culturais diferentes daquelas que nosso cérebro nos permite conceber. A leitura, invenção cultural recente, pertence desde milênios ao envelope de possibilidades acessíveis aos circuitos cerebrais. Por detrás da diversidade aparente dos sistemas de escrita se movem os mecanismos neuronais universais que revelam, como em filigrana, os limites de nossa natureza humana.

NOTAS

1 Gould, 1992.
2 Dawkins, 1996.
3 Changeux, 1983.

1

Como lemos?

Como funciona a leitura? O tratamento da escrita começa no olho. Somente o centro de nossa retina, chamado de fóvea, possui uma resolução suficientemente elevada para reconhecer os detalhes das letras. Devemos, pois, deslocar nosso olhar sobre a página a fim de identificar, a cada pausa do olho, uma palavra ou duas. Desmembrada em milhares de fragmentos pelos neurônios da retina, a cadeia de letras deve ser reconstituída antes de ser reconhecida. Nosso sistema visual extrai progressivamente o conteúdo dos grafemas, sílabas, prefixos, sufixos e radicais das palavras. Entram enfim em cena duas grandes vias paralelas de tratamento: a via fonológica e a via lexical. A primeira permite converter a cadeia de letras em sons da língua (os fonemas). A outra permite acessar um dicionário mental onde está armazenado o significado das palavras.

A existência do texto é silenciosa até que o leitor a leia. Não é senão quando o olho atento entra em contato com as marcas deixadas sobre o caderno que começa a vida ativa do texto. Todo o escrito depende da generosidade do leitor.

Alberto Manguel, *Une histoire de la lecture.*

Como lemos? Que operações nosso cérebro adulto põe em ação a fim de transformar as marcas sobre o caderno em conteúdo inteligível? A princípio, a operação da leitura nos parece mágica: basta pousar o olhar

sobre uma palavra e, sem o mínimo esforço aparente, nosso cérebro nos dá acesso a seu sentido e a sua pronúncia. No entanto, esse problema não é simples, já que os melhores softwares de reconhecimento se defrontam sempre com dificuldades. Quando entra na retina, a palavra é esfacelada em milhares de fragmentos: cada porção de imagem da página é reconhecida por um fotorreceptor distinto. Toda a dificuldade consiste, em seguida, em reunir os fragmentos a fim de decodificar as letras sob processo, a ordem na qual são apresentadas, e a palavra em questão.

Há 30 anos, a psicologia cognitiva analisa a mecânica humana da leitura. Seu objetivo é o de compreender quais fórmulas, ou quais algoritmos, no sentido informático do termo, um bom leitor aplica ao problema do reconhecimento das palavras. Ela se interessa, portanto, somente pelas etapas de transformação da informação e não pelos mecanismos cerebrais subjacentes.

A psicologia cognitiva aborda a questão da leitura como poderia realizá-la um robô. Cada leitor dispõe de um captor: o olho e sua retina. As palavras aí se fixam sob a forma de manchas de sombra e luz, as quais devem ser decodificadas sob a forma de signos linguísticos compreensíveis. A informação visual deve ser extraída, destilada, depois recodificada num formato que restitua a sonoridade e o sentido das palavras. Temos necessidade de um algoritmo de decodificação, semelhante em seus princípios àquele de um software de reconhecimento dos caracteres, capaz de passar as manchas de tinta da página às palavras que ela contém. Sem que tenhamos consciência, nosso cérebro realiza uma série de operações sofisticadas cujos princípios começam somente a ser compreendidos.

O OLHO, UM CAPTOR IMPERFEITO

Tudo começa na retina, aonde vêm-se projetar os fótons reenviados pela página. Este captor está longe de ser tão perfeito quanto se pretendia. Com efeito, ele não é homogêneo. Só a região central da retina, chamada de fóvea, é rica em células fotorreceptoras de resolução muito alta, os cones. Esta região, que ocupa cerca de 15° do campo visual, é a única zona da retina realmente útil para a leitura. Só ela capta as letras com detalhes suficientes para reconhecê-las. Se os detalhes faltam, seja após uma lesão da retina, após uma lesão das áreas cerebrais visuais, ou após um artifício experimental que mascare seletivamente a região da fóvea, a leitura se torna impossível[1].

A estreiteza da fóvea é a razão principal pela qual movemos incessantemente os olhos no curso da leitura. Ao orientar o olhar, nós "escaneamos" o texto a ser lido, com a ajuda da parte mais sensível de nosso captor visual, a única capaz de discriminar finamente as letras. Em adendo, não percorremos o texto de forma contínua[2]. Ao contrário, nossos olhos se deslocam em pequenos movimentos discretos, por sacadas. Efetuam-se, na verdade, quatro ou cinco por segundo, a fim de trazer tais palavras à fóvea.

Mesmo no seio da fóvea, a informação visual não é representada em toda a extensão com a mesma precisão. O número de captores afetados em cada ponto do campo visual decresce progressivamente à medida que se afastam do centro do olhar. Dito de outra forma, há uma perda progressiva da precisão da codificação visual. A precisão é máxima no centro e diminui em direção à periferia. Acreditamos ver uma palavra ou mesmo uma página em sua totalidade, com a mesma precisão em todos os lugares. Na realidade, contrariamente a um aparelho fotográfico, cujo captor apresenta uma resolução homogênea, nosso captor ocular não percebe com precisão senão o lugar onde nosso olhar se fixa. A periferia se perde num fluxo progressivo (Figura 1.1[3]).

Poderia pensar-se que, nestas condições, é o tamanho dos caracteres que determina a facilidade com a qual nós lemos: os caracteres pequenos seriam mais difíceis de ler que os grandes. É curioso constatar que não é nada disso. Com efeito, quanto mais uma palavra for escrita em caracteres grandes, mais eles tomam lugar na retina e, portanto, mais as letras se distanciam em direção à periferia do campo visual, onde mesmo as letras grandes ficam difíceis de discernir. Os dois fatores se compensam quase exatamente, de modo que uma palavra enorme e uma palavra minúscula são, do ponto de vista da precisão da retina, essencialmente equivalentes. Evidentemente, isto é verdadeiro se o talhe dos caracteres não descer abaixo dos limites de resolução de nossa fóvea. Entre as pessoas afetadas por uma catarata ou por um glaucoma, em quem a resolução visual está alterada, é, portanto, lógico recomendar a leitura de livros impressos com caracteres grandes.

Em virtude desta organização do olho, nossas capacidades de percepção não dependem senão do número de letras que as palavras contêm e não do tamanho absoluto[4]. De fato, as sacadas oculares que permitem a leitura são aproximativamente constantes, se as mensurarmos em relação ao número de letras percorridas, já que elas variam grandemente de tamanho em função da fonte utilizada. Quando prepara as sacadas, nosso cérebro adapta a distância percorrida pelo olho ao tamanho dos caracteres, de modo a avançar em torno de sete a nove letras a cada sacada. Este valor, surpreendentemente pequeno, corresponde, portanto, aproximadamente ao número de letras que conseguimos tratar no curso de uma fixação do olhar.

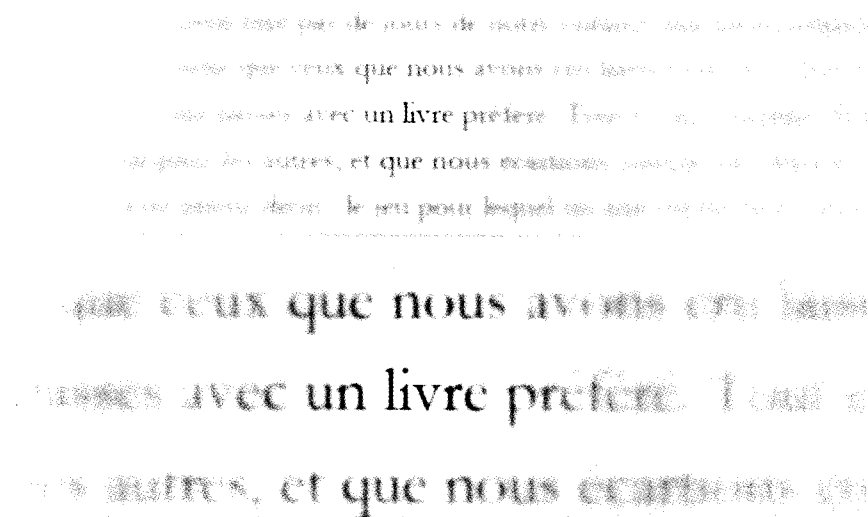



Figura 1.1. A organização de nossa retina impõe uma filtragem severa aos textos que lemos. Esse texto de Marcel Proust (*Sobre a leitura*) foi filtrado com a ajuda de um algoritmo concebido por Sere, Marendaz e Herault (2000), que simula a imprecisão crescente de nossa percepção à medida que nos distanciamos do centro da retina, chamada fóvea. Seja qual for o tamanho dos caracteres, somente as letras mais próximas do centro são legíveis. É por essa razão que devemos deslocar sem cessar nosso olhar, no curso da leitura, em pequenos movimentos em sacada. Cada vez que nosso olhar pousa, não conseguimos identificar senão uma ou duas palavras.

Para verificar mais diretamente o que vemos de um texto, George W. McConkie e Keith Rayner desenvolveram um método experimental que poderíamos qualificar de "demônio de Descartes". Em suas *Meditações metafísicas*[5], René Descartes imaginou, com efeito, um gênio mau, capaz de enganar nossos sentidos:

> Suporia, pois, que existe não um verdadeiro Deus, fonte soberana da verdade, mas certo gênio mau, não menos enganador que poderoso, que empregou toda sua indústria para me enganar. Pensaria que o céu, o ar, a terra, as cores, as imagens, os sons e todas as coisas exteriores que vemos, não são senão ilusões e engodos, dos quais ele se serve para surpreender minha credulidade. Eu me consideraria eu próprio, como desprovido de mãos, dos olhos, de carne, de sangue, como não tendo nenhum sentido, mas crendo falsamente possuir todas estas coisas.

O gênio mau de Descartes, como o computador do filme *Matrix*, produziu um simulacro da realidade, bombardeando nossos sentidos com sinais

habilmente calculados para criar uma ilusão de realidade, um cenário virtual do qual jamais poderíamos ver o outro lado. O método de George W. McConkie e Keith Rayner , denominado "janela móvel" é mais modesto: ele permite criar uma ilusão de texto sobre a tela de um computador[6]. Consiste em equipar um voluntário com um aparelho de detecção de movimentos do olho, acoplado a um computador de modo a modificar a fixação do texto em tempo real. Assim, podemos programar o computador para não fixar senão alguns caracteres de um lado e de outro do ponto de fixação do olhar, sendo todas as outras letras substituídas por "x", na linha. Como exemplo, a primeira frase de *Os Maias* de Eça de Queiroz, apareceria assim:

A casa qux xx xx xxxx xxxxxx xx xxxxx xxxxx
↑

Assim que o olhar se movimenta, o computador renova a tela a fim de sempre apresentar as letras adequadas ao local para o qual se olha, e de "x" nos demais:

xxxxxxxxe os Maiax xxxxxx xx xxxxx xxxxxx
↑

xxxxxxxxx xx xx xxxs vieram xx xxxxx xxxxxx
↑

xxxxxxxxx xx xx xxxx xxxxxx habitar xxxx
↑

xxxxxxxxx xx xx xxxx xxxxxx xxem Lisboa.
↑

Foi assim que McConkie e Rayner realizaram uma descoberta notável e paradoxal: para o sujeito da experiência, esta manipulação não é detectável. Por pouco que se deixem, mas de modo suficiente, as letras corretas de um lado e de outro do ponto de fixação, o leitor não percebe nada e crê ter sob seus olhos uma página normal. Resumindo, ele fica cego em relação a uma grande parte de seu campo visual e não o sabe.

Por que esta surpreendente cegueira periférica? No momento em que é produzida, a mudança das letras não é visível porque ocorre um pico de velocidade do olho, no momento em que a imagem da retina se torna imprecisa pelo deslocamento. Assim que o olhar pousa, tudo adquire o ar normal: as letras observadas estão nos seus lugares face à fóvea e o resto, de todo o modo, não é legível na periferia do campo visual. A experiência de McConkie e Rayner prova assim que não tratamos

conscientemente senão uma pequena fração das entradas visuais. Se deixarmos aproximadamente quatro letras à esquerda e quinze letras à direita, a velocidade da leitura permanece idêntica à de um texto normal[7]. A cada instante, não extraímos, pois, senão muito pouco da informação do texto: o demônio de Descartes não teria que afixar senão umas vinte letras a cada fixação para nos fazer crer que teríamos sob os olhos a totalidade de um volume de Eça de Queiroz!

De novo se trata de uma superestimação. Não identificamos verdadeiramente senão dez ou doze letras por sacada: três ou quatro à esquerda do centro do olhar, e sete ou oito à direita. Para além desta zona que denominamos o âmbito (*span*) da percepção visual das letras, a experiência mostra que somos praticamente insensíveis à identidade das letras e somente percebemos o espaço que delimita a palavra seguinte: fornecendo-nos índices de extensão, esses espaços nos permitem preparar a próxima sacada a fim de que o olhar aterrisse bem próximo do centro da próxima palavra. Talvez analisemos de modo igual todas as primeiras letras da palavra que segue – mas os especialistas continuam a se perguntar em que ponto o significado é reconhecido.

Nossa janela de percepção de uma página não só é reduzida, mas assimétrica: entre os leitores do francês, há um viés na percepção das letras em favor da direita, de modo que percebemos cerca de duas vezes mais as letras à direita da fixação do olhar do que à esquerda. Esta assimetria provém da direção da leitura. Para os leitores do árabe ou do hebraico, entre os quais o olhar percorre a linha da direita para a esquerda, a assimetria do âmbito do olhar é inversa[8]. Em outras línguas como o chinês, onde a densidade dos caracteres é mais elevada, as sacadas são mais curtas e o âmbito fica, em consequência, reduzido. Cada leitor adapta sua exploração visual em função da língua que pratica.

Aplicando o mesmo método, pode-se estimar, igualmente, qual a duração de exposição suficiente para identificar uma palavra. Para medir esta duração, é suficiente programar o computador a fim de que ele substitua todas as letras, mesmo aquelas que aparecem na fóvea, por "x", depois de um tempo de exposição dado. Percebe-se, então, que são suficientes 50 milissegundos de apresentação para que a leitura progrida de modo quase normal. Isto não significa que todas as operações mentais da leitura terminem após 50 milissegundos. Veremos mais adiante que as operações se encadeiam no tempo durante pelo menos metade de um segundo, após a apresentação de uma palavra. Contudo, a tomada inicial de informações visuais é extraordinariamente breve.

Em resumo, os limites que o olho impõe à leitura são consideráveis. A estrutura de nosso captor visual nos obriga a percorrer as frases em sacada, deslocando o olhar a cada dois ou três décimos de segundo. A leitura não é senão uma sucessão de tomadas do texto, que é apreendido quase palavra a palavra. Se as pequenas palavras gramaticais como os auxiliares, os pronomes, as conjunções, as preposições ou os artigos são quase sempre pulados, quase todas as outras palavras essenciais de conteúdo da frase, tais como os nomes, os verbos, os adjetivos ou os advérbios, devem ser fixados pelo olhar*.

Esses limites são inamovíveis: eis aí uma primeira prova de que nossa organização biológica limita nossa aprendizagem cultural. É possível certamente o treino para otimizar nossas sacadas visuais, mas a maior parte dos bons leitores que leem ao redor de 400 a 500 palavras por minuto já está próxima do ótimo: com o captor da retina de que dispomos, sem dúvida, não é possível fazer muito mais. Pode-se demonstrar que são mesmo as sacadas que limitam nossa velocidade de leitura[9]. Com efeito, se suprimirmos nossa necessidade de mover os olhos, apresentando as palavras no computador uma após a outra, no ponto preciso onde se fixa o olhar, um bom leitor poderá atingir velocidades de leitura extraordinárias: 1.100 palavras por minuto em média, 1.600 para os melhores – ou seja, três a quatro vezes mais que a leitura normal e cerca de uma palavra a cada 40 milissegundos! Com este método de apresentação sequencial visual rápida, a identificação e a compreensão permanecem satisfatórias, o que bem demonstra que a duração destas etapas centrais não é limitadora na leitura normal. Será que esta apresentação informatizada representa o futuro da leitura, num mundo onde as telas substituem progressivamente o papel?

Seja o que for, enquanto o texto continuar apresentado em páginas e em linhas, o que ocorre é que é a aquisição pelo olhar que diminui a velocidade da leitura e constitui um limite incontornável. Os métodos de leitura rápida, que se propõem atingir uma taxa de 1000 palavras por minuto ou mais, devem, pois, ser considerados com o maior ceticismo[10]. Sem dúvida, é possível aumentar um pouco o âmbito visual a fim de reduzir o número de sacadas. Pode-se, igualmente, aprender a evitar as regressões, esses momentos quando o olhar volta às palavras que acabou de percorrer. Mas não podemos ultrapassar os limites físicos do olho, sob pena de saltar as palavras e, em consequência, perder o fio do texto.

* N. de R.T.: Cabe ressaltar que os verbos principais de maior frequência de uso, como são exemplo no português ver, vir, ir, ler, dar, pôr, ser e ter, embora também funcionem como auxiliares, são monossilábicos. Em decorrência, não constituem centro para fixação.

Lembremos da experiência de Woody Allen: "Na semana passada segui um curso de leitura rápida – e funcionou! Ontem li todo o *Guerra e paz* numa hora. É uma história sobre os russos..."

OS MIL E UM FORMATOS DOS CARACTERES

> – Então, sabes ler, Lubin?
> – Sim, eu sei ler a letra de imprensa; mas jamais aprendi a ler a escrita.
>
> Molière, *Georges Dandin*

Os deveres do camareiro Lubin, que Molière descreve, ilustram bem o problema da percepção visual que a leitura coloca. Ler é saber identificar todas as palavras, sejam elas escritas em letra de imprensa, sejam manuscritas, em maiúsculas ou minúsculas e em todos os tamanhos das fontes. Trata-se de localizar o que não varia – a sequência das letras – a despeito das mil e uma formas que possam assumir os caracteres. É o que denominamos o problema da "invariância perceptiva".

Examinemos concretamente como a questão da invariância se coloca para nosso cérebro quando ele fixa uma palavra. Sobre nossa retina, a palavra excita uma fração de nossos fotorreceptores. De que palavra se trata? A identificação seria facilitada se as palavras fossem sempre escritas na mesma fonte, com o mesmo tamanho e no mesmo lugar. Seria suficiente, então, estabelecer uma lista de células da retina ativadas da retina para saber qual palavra é apresentada – do mesmo modo que uma imagem em preto e branco fica definida na tela do computador, pela lista de seus píxeis iluminados. Mas o reconhecimento das palavras é evidentemente bem mais complexo, na medida em que dezenas de imagens diferentes podem corresponder à mesma palavra, conforme esteja escrita em minúsculas ou maiúsculas, traçada à mão ou impressa (Figura 1.2). É preciso, pois, atingir um reconhecimento *invariante*, apesar da grande variedade de formas de superfície que as palavras podem assumir.

Uma primeira forma de invariância diz respeito ao tamanho das letras. No seio de uma mesma página de jornal coabitam títulos garrafais com os artigos escritos com caracteres pequenos. O tamanho das letras pode variar ao fator cinquenta sem que nossa leitura seja afetada. Essas variações não são, depois de tudo, piores que aquelas a que somos submetidos quando reconhecemos um rosto situado a cinquenta centímetros

ou a vinte e cinco metros de distância – nosso sistema visual resiste sem esforço a vastas mudanças de escala.

um dois três	
um dois três	*um dois três*
um dois três	
um dois três	um dois três
um dois três	
um dois três	um dois três
um dois três	um deis trás

Figura 1.2 A grande proeza de nosso sistema de reconhecimento das palavras consiste em satisfazer duas exigências que parecem contraditórias: negligenciar as variações inúteis, mesmo se elas forem maciças, ao preço de ampliar as diferenças pertinentes, mesmo se elas forem bem pequenas. Sem que tenhamos consciência, nosso sistema visual compensa automaticamente as variações enormes de talhe ou de fonte dos caracteres. Ele nos dá acesso à identidade abstrata da palavra, seja qual for sua representação gráfica. Contudo, nosso sistema visual presta igualmente atenção a minúsculas mudanças de forma. É suficiente que um só traço venha a se modificar, como o anel da letra **e** nas palavras **leve** e **levo** para que toda a cadeia de tratamento da palavra balance e acarrete com ela a pronúncia e o significado.

Uma segunda forma de invariância concerne à posição das palavras. Uma vez que nosso olhar se desloca durante a leitura, o centro de nossa retina aterrissa, em geral, ligeiramente à esquerda do centro da palavra. Contudo, ele não pousa sempre exatamente no mesmo local. Se a palavra não for muito longa, pouco importa que nosso olhar se fixe sobre a primeira ou sobre a última letra: isto não nos impede de reconhecê-la. Conseguimos mesmo, numa certa medida, ler palavras apresentadas na periferia do campo visual, desde que o tamanho das letras seja suficientemente importante para compensar a perda de resolução. Assim, nosso sistema visual dispõe de mecanismos que compensam simultaneamente as mudanças de tamanho e da posição das palavras.

Uma terceira forma de invariância concerne à forma dos caracteres. Agora que os softwares do tratamento do texto se disseminaram por todos os lares, toda uma tecnologia anteriormente reservada aos tipógrafos tornou-se familiar a numerosos leitores. Todo mundo sabe que existem numerosas coleções de caracteres chamadas fontes. Esse termo evoca os tempos antigos quando cada caractere devia ser fundido em metal antes de ser utilizado na impressão. Cada fonte dispõe igualmente de dois tipos de caracteres ou "caixas", as MAIÚSCULAS e as minúsculas. Na origem, a caixa era uma caixa plana, dividida em numerosos compartimentos onde os

caracteres eram dispostos: o "alto da caixa" era ocupado pelas maiúsculas e a parte "baixa da caixa", pelas minúsculas. Daí as expressões "caixa alta" (maiúsculas) e "caixa baixa" (minúsculas). Enfim, é possível escolher, frequentemente, a espessura dos traços, ou "gordos" (fala-se dos **caracteres gordos** ou em **negrito**), a inclinação dos caracteres (escrita em *itálico*), o sublinhado, ou não importa qual **combinação** ***destas opções***. Novamente, se trata de variações bem calibradas, que as práticas da impressão tornaram perfeitamente reproduzíveis. A escrita manuscrita acrescenta evidentemente uma dimensão ainda maior de variação e de ambiguidade.

Confrontado com todas estas variações, nosso sistema visual deve, se desejar chegar a ler, colocar numa mesma categoria formas consideravelmente diferentes. Uma parte do problema pode certamente ser resolvida por meios visuais simples. A vogal "o", por exemplo, distingue-se facilmente por sua forma redonda e fechada, sejam quais forem os tamanhos e as fontes. Um detector visual da letra "o" não é, pois, difícil de construir. Mas outras letras suscitam dificuldades especiais. Apesar de parecer evidente que as formas "r", "R", "*r*" e "*R*" representem a mesma letra, um exame atento nos mostra que tal associação é perfeitamente arbitrária. Por que a forma "e" não seria também apropriada para representar a minúscula da letra "R"? Somente os acidentes da história assim decidiram. No curso da aprendizagem da leitura, devemos aprender não somente que as letras representam os fonemas da língua, mas também que as múltiplas formas sem ligação especial entre elas podem representar uma mesma letra. Esse conhecimento abstrato resulta provavelmente da existência de detectores de letras, de neurônios capazes de recuperar a identidade das letras por detrás das formas de superfície muito diferentes. A experiência mostra que basta um pouco de treino PaRa dEcOdIfIcAr, NuMa VeLoCiDaDe PrAtIcAmEnTe NoRmAl FrAsEs CuJaS LeTrAs SeJaM aLtErNaDaMeNtE eScRiTaS eM mAiÚsCuLaS E mInÚsCuLaS[11]. No aparelho de McConkie e Keith Rayner, pode-se mesmo modificar esta alternância de caixa a cada vez que o olho se desloca – sem que o leitor se aperceba da menor mudança[12]! Em nossa experiência cotidiana de leitor, não encontramos jamais as letras em apresentação alternada. Contudo, o processo de normalização das letras possui tal eficácia que resiste sem dificuldade a tais manipulações.

De passo, estas experiências mostram que a forma global da palavra não desempenha praticamente nenhum papel na leitura. Se somos capazes de reconhecer a identidade das palavras "três", "TRÊS" e "TrÊs",

é porque nosso sistema visual não presta nenhuma atenção ao contorno da palavra nem às letras mais altas ou mais baixas: ele não se interessa senão pelo reconhecimento da invariância da sequência das letras.

A AMPLIFICAÇÃO DAS PEQUENAS DIFERENÇAS

Acabamos de ver que o sistema visual de um bom leitor é de uma eficácia formidável para filtrar e rejeitar uma quantidade de variações que não são pertinentes à leitura, tais como a diferença entre "R" e "r". Contudo, seria muito simples pensar que ele se contenta em simplificar as formas. Pelo contrário, ele deve frequentemente preservar e mesmo ampliar os detalhes muitas vezes minúsculos que diferenciam duas palavras muito próximas. Consideremos as palavras "bela" e "bala". Acessamos imediatamente seu sentido e sua pronúncia, mas é somente nos debruçando atentamente sobre sua forma escrita que tomamos consciência de que elas não diferem uma da outra senão por algumas manchas de tinta. Nosso sistema visual é sensível à diferença minúscula entre as palavras "bela" e "bala" e a amplifica de etapa em etapa a fim de acessar, ao final da cadeia, sons e sentidos radicalmente diferentes. Ao mesmo tempo, ele não presta muita atenção a diferenças muito maiores como as que se encontram em palavras como "bela" e "BELA".

Como a invariância de caixa, esta capacidade de atenção aos detalhes pertinentes resulta de anos de aprendizagem. O mesmo leitor que imediatamente vê a diferença entre as letras "e" e "o" e a ausência de diferença entre "a" e "*a* " ignora provavelmente que ה e ח são letras diferentes do hebraico, o que parecerá evidente para qualquer leitor do hebraico.

CADA PALAVRA É UMA ÁRVORE

Como nosso sistema visual resolve o problema do reconhecimento invariante das palavras? Nós no debruçaremos em detalhe sobre a organização cerebral das áreas visuais no capítulo seguinte, mas é necessário fazê-lo desde agora e já imaginar uma arborescência hierárquica que reorienta e canaliza progressivamente o fluxo da atividade neuronal egresso das áreas visuais. Formas visuais inicialmente muito próximas como "bela" e "bala", analisadas por uma hierarquia de detectores cada vez mais refinados, são progressivamente selecionadas, separadas e reli-

gadas a significações diferentes. De modo inverso, formas como "bela" e "BELA", compostas por traços visuais inteiramente diferentes, são de início representadas por neurônios distintos, na área visual primária, mas são em seguida progressivamente recodificadas para os níveis seguintes. Os detectores de formas reconhecerão a similaridade entre "x" e "X". Outros detectores de letras mais abstratos serão capazes de classificar as formas "e" e "E" como duas instâncias da mesma letra. Por fim, a despeito das diferenças iniciais, o sistema visual do leitor convergirá em direção à mesma representação abstrata, a essência mesma da sequência das letras "BELA", independentemente de sua forma particular – um código abstrato capaz de orientar o resto do cérebro em direção à pronúncia e ao sentido desta cadeia de caracteres.

Ao que se assemelha esse código abstrato? Trata-se de uma lista de letras, B-E-L-A, sem uma estrutura particular? Não. Orientamo-nos atualmente em direção à hipótese de uma representação hierárquica, onde cada palavra escrita estaria representada por uma árvore, na qual as letras se reagrupam em unidades, por seu turno, imbricadas em agrupamentos de talhe mais elevado – um pouco como um corpo humano pode ser representado pelo agenciamento de suas partes, pernas, tronco, cabeça, por seu turno, constituídas por elementos mais simples.

Quais são então as partes pertinentes de uma palavra? Dissequemos o conjunto da palavra "desvestir", por exemplo. Encontramos aí um prefixo "des", um sufixo ou desinência modo-temporal "r" e uma vogal temática da 3ª conjugação "i" que enquadram e modificam o elemento central no seio da palavra, o radical "vest". Todos esses elementos se chamam "morfemas": são as unidades menores dotadas de significado que as palavras contêm. A reunião dos morfemas determina o significado da palavra. A decomposição em morfemas permite mesmo compreender palavras que jamais tivéssemos lido como "provestiriam", ou "antevestiam" (compreendemos que se trata no primeiro exemplo de "favoreceriam o vestir" e, no segundo, de "vestiam antes"). Existem línguas que são chamadas de "aglutinantes" ou "polissintéticas", como o turco e o finlandês, nas quais a acumulação de morfemas permite a composição de palavras muito longas, que veiculam tantas informações quantas uma frase da língua francesa. Nestas línguas, mas também no francês e no português, a decomposição em morfemas constitui uma etapa essencial que o sistema visual deve cumprir antes de chegar ao significado.

Inúmeros dados experimentais demonstram que, num tempo muito curto, e mesmo inconscientemente, nosso sistema visual extrai os morfemas das palavras. Por exemplo, se lhe apresentarmos num tempo muito breve, sobre a tela do computador, a palavra "florzinha", você pronunciará mais rapidamente a palavra "flor" quando a reencontrar ulteriormente. A presença da palavra "florzinha" parece pré-ativar o morfema [flor] e assim facilitar seu reconhecimento ulterior. Estamos nos referindo ao efeito de gatilho, porque a leitura de uma palavra (*prime*) facilita o reconhecimento de palavras relacionadas, semelhante ao da pressão inicial de uma bomba. O efeito gatilho não necessita que as duas palavras se assemelhem no plano visual: duas palavras que pouco se assemelhem, mas que partilhem um mesmo morfema tais como "lido" e "lemos" podem agir como gatilhos uma da outra, enquanto palavras que apresentem muita semelhança, mas sem nenhuma relação morfológica, como "vinte" e "pinte", não agem como gatilhos.

O gatilho não ocorre só ao nível do significado, porque palavras como "cabeça" e "cabeçalho" podem atuar como gatilhos, mesmo que não tenham nenhuma relação de significado[13]. O que parece contar é a plausibilidade da decomposição da cadeia de letras em morfemas: "cabeç" pode ser o radical de "cabeçalho", porque "alho" é um sufixo frequente, enquanto "inte" não é uma unidade significativa de "vinte", por não ser nem sufixo, nem radical; "v", não é um prefixo no português e nesse contexto não é um radical (poderia sê-lo na conjugação dos verbos "vir" e "ver"). Tudo se passa, pois, como se nosso sistema visual fizesse uma rápida aposta na decomposição presumida da palavra em morfemas. Ele disseca a palavra "cabeçalho" em [cabeça]+[alho], esperando que isto seja útil aos operadores seguintes, encarregados de calcular o significado[14]. E, tanto pior, certamente, se tal não funcionar perfeitamente – um cabeçalho não é uma cabeça grande ou monstruosa, nem colarinho, um colar pequeno, nem moinho, uma mó pequena! Esses erros serão retificados mais tarde pelos outros níveis de decomposição da palavra.

Continuemos, pois, a desvestir a palavra "desvestir": ela não é indivisível: os morfemas que a compõem são des-, -vest-, -i-, -r. No nível fonológico, ela se compõe de três sílabas: /des/, /ves/ e /tir/, por seu turno, compostas cada uma pela representação de duas consoantes e uma vogal: /d/, /s/, /v/, /t/, /r/, /e/, /i/. Vemos aparecer aqui uma unidade nova, essencial à leitura: o "grafema". Trata-se de uma ou mais letras que representa(m) uma só categoria elementar da língua falada, um "fonema". Em muitas línguas, certos fonemas, como o realizado pelo som [u], são representados por várias letras[15], como "où" em francês, ou "oo" em inglês. No português, o fonema /s/ pode estar representado pelo grafema "ss". Nosso sistema visual aprendeu a tratar esses grupos de letras como uma unidade à parte, inteira, a ponto de não vermos praticamente mais as letras que os compõem.

Tentemos uma experiência simples: experimente detectar entre as seguintes palavras, aquelas que contêm a letra "c":

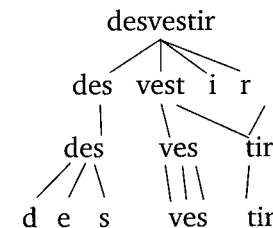
faceta
aceite
exceto
enlace
ameace
inicio
nasce
vícios

Você percebeu um pequeno atraso nas palavras "exceto" e "nasce", onde a letra "c" está encaixada num grafema complexo (ou seja, um dígrafo)? O estudo dos tempos de resposta em tais situações mostra claramente que nosso cérebro não para ao nível da letra, mas reagrupa automaticamente estas últimas em grafemas apropriados – o que torna opaca a presença da letra "c" em grupos de letras como "xc" e "sc" que formam uma unidade de leitura[16].

Do mesmo modo, os grafemas se reagrupam em sílabas. Eis uma demonstração simples de que nosso sistema visual é sensível às sílabas. Vocês irão ver palavras de cinco letras: tentem concentrar-se exclusivamente na letra central da sílaba e dizer em voz alta se ela está escrita em caracteres normais ou negrito:

Lista 1: CA**RTA** **PAR**ES **BA**NDA LAV**AR**
Lista 2: **VES**PA RA**DAR** PAR**TE** **MI**NAR

Você sentiu uma dificuldade maior na primeira lista do que na segunda? Na primeira lista, o negrito não respeita a fronteira das sílabas – o **R** de **PAR**ES aparece em negrito enquanto o resto da sílaba ES está sem negrito. A confusão resultante induz uma diminuição mensurável de nossas respostas[17]. Ela testemunha que, mesmo quando isto nos perturbe e que desejemos evitá-lo, nosso sistema visual não pode impedir-se de decompor de forma automática as palavras em constituintes elementares.

A natureza exata desses constituintes permanece como tema de pesquisa muito atual. É provável que níveis múltiplos de análise coexistam: a letra no nível mais baixo, em seguida, o par de letras ou "dígrafo" (sobre o qual tornaremos a falar), depois o grafema, a sílaba, o morfema e enfim a palavra. Sob o ponto de vista do tratamento visual, a palavra escrita se parecerá então a uma árvore, uma arborescência de mato, parcialmente hierárquica cujas folhas são as letras e os galhos, pedaços de palavras de tamanho crescente:

Reduzida a seu esqueleto, desembaraçada de todos seus detalhes inúteis de fonte, de caixa, de talhe ou de posição, a cadeia de caracteres foi analisada em seus componentes mais elementares. Esses irão agora poder ser utilizados pelo resto do cérebro, tanto para calcular o som quanto para chegar ao seu sentido.

A VOZ MUDA

...Esta arte engenhosa de pintar a palavra e de falar aos olhos...

Georges DE BRÉBEUF, *Pharsale de Lucain*

Quando da visita a Santo Ambrósio, então bispo de Milão, Santo Agostinho observa um fenômeno tão curioso que o julga digno de relatá-lo em suas memórias:

> Mas quando [Santo Ambrósio] lia, os olhos divagavam pelas páginas e o coração penetrava-lhes o sentido, enquanto a voz e a língua descansavam. As muitas vezes em que me achei presente, porque a ninguém era proibida a entrada, nem havia o costume de lhe anunciarem quem vinha – sempre o via a ler em silêncio e nunca doutro modo.[18]

No coração do século VII, o teólogo Isidoro de Sevilha se maravilhava igualmente com o fato de "as letras terem o poder de nos comunicar silenciosamente os propósitos dos ausentes". Na época, com efeito, era corrente ler o latim em voz alta, movendo os lábios. A oralização é, por um lado, uma convenção cultural e uma necessidade: confrontados com as páginas onde as palavras não são separadas umas das outras, numa língua que ela conhece mal, a maior parte dos leitores deve hesitar como crianças. Eis por que o eficaz método direto de Santo Ambrósio os espanta, enquanto a experiência nos é hoje familiar: lemos sem articular os sons.

Contudo, quando assim praticamos a leitura mental, passamos na verdade diretamente das palavras escritas a sua significação sem acessar

sua pronúncia? Ou na verdade transformamos sempre as letras em imagens acústicas e depois as imagens acústicas em significado, sem disto ter consciência necessariamente? Tal é o grande debate sobre as vias da leitura que dividiu, durante quase trinta anos, a comunidade científica. Para uns, a passagem pela imagem acústica é essencial – a língua escrita, afinal, não é senão um subproduto da linguagem oral e nós devemos, pois, passar sempre pela via das imagens acústicas, ou via *fonológica*, ante de encontrar a significação. Para outros, a passagem pela fonologia não é senão uma etapa inicial, característica do leitor debutante. Para o bom leitor, a leitura eficaz passaria por uma via direta, ou *via lexical*, em linha direta desde a cadeia de letras até a significação da palavra.

Hoje, um consenso sobressai: nos adultos, as duas vias de leitura existem e são ativadas simultaneamente. Dispomos todos de uma via direta de acesso às palavras, que nos evita pronunciá-las mentalmente antes de compreendê-las. Contudo, nos leitores experientes, a sonoridade das palavras continua a ser utilizada, mesmo se dela não tivermos sempre consciência. Não se trata de articulação – não temos necessidade de mover os lábios nem mesmo de preparar um movimento da boca. Mas, a nível mais profundo de nosso cérebro, as informações sobre a pronúncia das palavras são automaticamente ativadas. As duas vias de tratamento das palavras, a via lexical e a via fonológica, funcionam, pois, em paralelo, uma sustentando a outra.

As provas do acesso à imagem acústica não faltam. Suponhamos, por exemplo, que lhe apresentemos diversas cadeias de caracteres e que lhe solicitemos classificá-las conforme elas formem palavras em português ou não. Insistamos bem: trata-se unicamente de decidir se, no plano visual, as palavras formam uma palavra. Comecemos:

lápis
fotreclo
ker
coque
acim
caza
mezmo

Não se deixa de perceber uma queda na velocidade quando as letras, sem comporem uma palavra real na escrita, são pronunciadas como tal, como em "ker" "acim", "caza", e "mezmo[19]". Isto supõe, evidentemente, que nós as pronunciamos mentalmente, mesmo se não o desejarmos.

Esta capacidade de leitura mental se torna essencial quando lemos uma palavra pela primeira vez. Ao iniciar, não temos nenhuma possibilidade de acesso direto ao significado, uma vez que não temos nenhuma experiência sobre a ortografia desta palavra. Contudo, podemos lê-la, isto é, podemos decodificá-la em imagens acústicas inteligíveis e, por esta via indireta, compreendê-la. A via fonológica é, pois, a única utilizável quando aprendemos a ler palavras novas. Raymond Queneau, um virtuose das palavras, o tinha compreendido bem e diversas vezes se serviu do procedimento em seus *Exercícios de estilo*. Lembremo-nos de que o livro nos conta, em 99 estilos distintos, uma anedota insípida sobre um homem encontrado ao azar num ônibus. Vejamos, pois, "Paruzinglezis", a ser lido mentalmente com o sotaque *British*!

> Undgia, serka dazdôzi óraz, naistaçãw pértu duônibus parapórta Xamparé. Êli tava kwázi complétu. Djérri subiw mezmu acim purtraz iviw umômeyn kumumpeskôçu kumpridu kumexárpi preza puruma ispéci djikorréntxi.

Lendo Queneau, encontramos uma forma de leitura de cuja existência, talvez, nos tenhamos esquecido, mas com a qual tantos escolares lutam durante meses: a decodificação, a lenta transformação de uma sequência de letras totalmente nova ("Undgia, serka dazdôzi óraz,") em sons que, de repente, como por milagre, se tornam palavras inteligíveis, como se o texto nos falasse no côncavo da orelha. É claro que, quando somos confrontados com cadeias novas de caracteres, não temos outra alternativa senão decodificá-las em sons.

Contudo, o que acontece com as palavras cotidianas, aquelas que já tivermos lido milhares de vezes? Não temos mais a sensação de decodificá-las com lentidão, articulando-as mentalmente. Deveremos sempre acessar a sua pronúncia? Muitas experiências sugerem que somos compelidos a fazê-lo, quer queiramos ou não. Por exemplo, suponhamos que lhe solicitem classificar, o mais rapidamente possível, substantivos usuais, conforme se refiram a objetos, ou não. Você deverá poder focalizar exclusivamente a significação das palavras e, se realmente existe uma via direta, negligenciar totalmente a pronúncia. Tente, pois:

maça
mesa
calda
posto
cesta
salto

A experiência mostra uma demora nítida e uma taxa importante de erros para palavras como "maça", "calda" e "cesta" que se pronunciam igual ao substantivo da categoria procurada ("a massa", "a cauda" e "sexta")[20]. Mas como poderíamos reconhecer esta homofonia se não acessássemos sua pronúncia? É a conversão interior em fonemas, a "voz muda" de Santo Agostinho que causa esse erro. Nosso cérebro não pode se impedir de transformar os grafemas "m-a-ç-a" em seus valores acústicos e, depois de reunidos, num significado – que não é sempre o bom porque palavras como estas são homófonas de uma palavra mais frequente. É evidentemente esta passagem irreprimível dos grafemas a seus valores acústicos e deles ao significado que faz morrer de rir as pessoas que leem trocadilhos[21], dos quais damos alguns exemplos*: "Jogaram grãos no chão para a Patrícia Pillar". "Prefiro vinho tinto, a Déborah Secco". "Eu não queria sair, mas a Cássia Kiss". "Eu tenho machucado no dedão, a Frida Kahlo"**.

Existem outras provas mais rigorosas do acesso à imagem acústica. Elas provêm do método de gatilho: apresenta-se muito rapidamente uma palavra ou um fragmento de palavra, por exemplo, "CRUZ", seguida imediatamente de uma outra palavra, por exemplo, "crus". Nesse exemplo, as duas cadeias de caracteres partilham três letras em quatro e se pronunciam da mesma maneira. Esses dois fatores influenciam a velocidade da leitura? O fato de já haver visto uma parte da palavra "crus" favorece o sujeito? Permite-lhe, por exemplo, decidir que esta palavra pertence ao léxico do português com uma rapidez maior que se a primeira cadeia de caracteres não tiver nenhuma relação com a segunda (por exemplo, se a palavra "crus" for precedida por "NAVE")? E de forma mais crucial, uma parte desta facilitação é imputável ao fato de a primeira cadeia de letras ("CRUZ") ser pronunciada como a segunda ("crus")?

A experiência mostra que existem efetivamente dois níveis de gatilho, um ortográfico, outro, fonológico. Primeiro, se observa uma facilitação simplesmente ligada ao número de letras partilhadas, que se observa mesmo se as duas cadeias de caracteres não se pronunciarem da mesma forma (por exemplo, se "BRÊS" for seguida de "três"). Contudo, se encontra igualmente uma facilitação suplementar ligada ao compartilhamento dos mesmos sons (quando "CREZ" for seguida de "crês"). Manipulando o intervalo de tempo entre o gatilho "CRÊS" e o alvo "crês", constata-se que o cérebro, como se poderia esperar, leva menos tempo para reconhecer as letras que para calcular a pronúncia. É suficiente a apresentação do *gatilho* durante 20 ou 30 milissegundos para que ocorra uma vantagem ortográfica, ao nível das letras, mas serão necessários ao redor de 40 milissegundos suplementares para que se produza a transformação em imagens acústicas e para que uma vantagem ao nível da pronúncia emerja[22].

Assim, pode-se seguir, indiretamente, o avanço progressivo da informação no cérebro desde os traços sobre a retina até sua transformação em letras e imagens acústicas. O acesso à sonoridade das palavras se produz muito rapidamente, inconscientemente, por uma via de conversão rápida dos grafemas em fonemas.

* N. de R.T.: No original, há vários trocadilhos picantes: "Plus le désir s' accroita, plus l' *effect se recule*" (*Polyeucte*, 1642).
"Car c' est ne pas régner qui' être deux *à régner*" (*La mort de Pómpée*, 1644).
"Je suis *romaine, hélas* ! puisque mon *époux l' est*" *(Horace)*.
"Quanto mais o desejo cresce, mais o efeito recua" (*Polyeucte*, 1642).
"Porque não é reinar, quando são dois a reinar" (*La mort de Pompée*, 1644).
"Sou romano, ai de mim! Já que meu esposo o é" *(Horace*, primeira versão, modificada pelo autor em 1656).

** N. de R. T.: Extraído de *Trocadilhos infames*, http://batecabeca.com.br/trocadilhos-infames/ acessado em 19/04/2004.

OS LIMITES DO SOM

A leitura muda é uma etapa automática da leitura. Nenhum leitor, mesmo extremamente advertido, não pode se impedir de converter inconscientemente os grafemas em imagens acústicas, em apenas algumas dezenas de milissegundos. Contudo, tal etapa é indispensável? Devemos sempre acessar inicialmente a imagem acústica, depois em seguida, sobre a base desta entrada auditiva reconstruída, recuperar-lhe o significado? Parece mais que não e que o acesso à significação possa igualmente ocorrer em paralelo por uma via direta, da cadeia das letras em direção ao seu significado.

Imaginemos, com efeito, um leitor que estivesse reduzido a passar pela pronúncia das palavras. Como chegaria a distinguir as palavras homófonas como "cela" e "sela"? O próprio fato de podermos, quase instantaneamente, acessar o significado destas palavras bem prova que não nos contentamos em calcular a pronúncia – nós tomamos em consideração igualmente a ambiguidade, para chegar direto ao significado. Como poderíamos de outro modo apreciar os versos delicados de André de Richaud[23]:

Meia-noite veio.
Meia-noite desapareceu.

Meia-noite e dez apareceu.
Meia-noite e vinte.

Um equivalente no português seria:

A chama acende.
A chama ascende.
Chama assim,
Chamas, sim!

Trata-se de versos "holorrimas", que rimam em sua totalidade. Se nós não dispuséssemos senão da via de conversão dos grafemas em imagens acústicas, não deveríamos ser capazes de compreendê-los. Deveríamos chegar somente a pronunciá-los, depois quedar perplexos diante de seus múltiplos sentidos. A obra do grande humorista Alphonse Allais, especialista do verso holorrima e do jogo de palavras de todo o tipo, é suficiente para refutar esta teoria:

Ah, vois au point du Loing, de là, vogue en mer, Dante !
Hâve oiseau pondu loin de la vogue ennuyeuse.

Versos em holorrima no português seriam:

Na Ponte do Loing
Ah, vê! Combalido, medita Dante seu fado!
Ave com balido, me dita seu enfado.

(A rima não é rica, dizia Allais, mas eu prefiro isto à trivialidade).

Existe um segundo problema para as teorias puramente fonológicas da leitura. É que a passagem das letras aos sons, a "conversão grafema-fonema" como a denominam os especialistas, está longe de ser uma operação elementar, desprovida de ambiguidade. Ela é frequentemente impossível sem a ajuda de informações suplementares. Considere a palavra "faxina". É evidente que o "x" se pronuncia como o "ch" e rima com "china". Mas como é que você sabe? Por que "faxina" não rima com "taxina"? Por que a letra "x" não se pronuncia como no "ch" em "taxina"? Não existe regra – somente uma palavra com pronúncia altamente irregular, de tal modo incomum, de fato, que não percebemos como seria possível recuperá-la, sem saber, antecipadamente, de qual palavra se trata.

O inglês, mais do que o francês, está repleto de irregularidades que complicam a leitura. As palavras de William Shakespeare, em *Penas de amor perdidas*, na boca do pedante Holoferne, atestam que esta decalagem entre o escrito e o oral não data de ontem:

Eu detesto estas fantasias fanáticas, estes companheiros antissociais e capciosos, estes carrascos da ortografia que, por exemplo, pronunciam *cáquitu* ao invés de *cáctus; pisíku* ao invés de *psico;* que leem *fôru* ao invés de *foram;* por que *embora* se torna *simbora* e por que *não é* fica abreviado em *né*? Isto é *abominável*, palavra que esses mascarados pronunciariam como *abominávew*. É levar um homem à insanidade[24].

O inglês como o francês são, efetivamente, línguas abominavelmente irregulares. George Bernard Shaw gostava de enfatizar que em inglês, a palavra *fish* poderia se escrever como "ghoti": o som [f] pode se escrever como "gh" em *enough*, o som [i] se denotar como "o" em *women*, e o som "sh" se escrever como "ti" em *notion*[25]! Do mesmo modo, em francês, a palavra *cap* poderia escrever-se "cheb": "ch" como em *chorale*; "e" como em *femme* e "b" como em *absurde*...

É claro que esses exemplos humorísticos são extremos. Na realidade, nenhum leitor advertido teria a ideia de pronunciar "cheb" como *cap*. As letras "eb" se pronunciam sempre *eb* – o "b" não se pronuncia praticamente nunca como *p*, salvo em alguns contextos onde for seguido de um "s". Levar em consideração o contexto das letras conduz a identificar as regularidades de nível mais alto, as "metarregras", que permitem com frequência reconstruir a pronúncia das palavras*.

Isto não impede que as exceções sejam suficientemente numerosas (no francês e no inglês) – "oignon" e "doigt"; "fille" e "ville"; "cerf" e "serf"; "choeur" e "chou"; "monsieur" e "monstreux" – para pôr uma dúvida séria sobre a possibilidade mesma de uma leitura que passe somente pelas imagens acústicas. Para as palavras mais irregulares, a recuperação da imagem acústica, longe de ser a origem da leitura, é, com frequência, o resultado: somente após ter reconhecido a palavra "monsieur", poderemos recuperar a pronúncia, e não o inverso. É o que acontece no português com "táxi", "máximo" e "sintaxe".

* N. de R.T.: Scliar-Cabral em *Princípios do sistema alfabético do português do Brasil* (São Paulo: Contexto, 2005) faz uma descrição exaustiva que permite depreender os valores dos grafemas, determinados pelo contexto grafêmico.

A LÓGICA ESCONDIDA DA ORTOGRAFIA

Por que a língua francesa conserva uma ortografia de tal complexidade? Nossos amigos italianos (e brasileiros) não encontram as mesmas dificuldades. Sua língua escrita é infinitamente mais transparente: a cada grafema corresponde um e apenas um só fonema de modo que não existem quase palavras irregulares em italiano (e PB) e alguns meses de aprendizagem são suficientes para ler praticamente todas as palavras. A vantagem é considerável: não somente os escores de leitura das crianças italianas estão à frente em muitos anos sobre os das crianças francesas, não só economizam horas da escolaridade não praticando o ditado e a soletração, mas, como veremos mais adiante, elas praticamente não sofrem de dislexia. Não seria de toda urgência seguir para o francês o exemplo do italiano? Queimar todos os dicionários, passar por cima dos acadêmicos e criar com todas as peças uma nova ortografia para o francês ke mém in enfan de trwa zan soré lire?

Sem chegar a tais extremos, não existe nenhuma dúvida de que a ortografia francesa deveria ser simplificada. Um bom número das particularidades ortográficas do francês é relíquia de tempos passados – o acento circunflexo, por exemplo, não é senão um vestígio do francês antigo, quando se pronunciava *teste* mais que *tête*. Mesmo para os ligados à cultura francesa, não percebemos em que a perda de um circunflexo possa colocá-la em perigo. A evolução das línguas é um fenômeno normal, que prossegue no oral, mesmo que a tivermos desafortunadamente interrompido no escrito. Há muitos séculos, o conservadorismo de nossos acadêmicos fixou o dicionário. A evolução da ortografia foi travada, enquanto a transformação natural da língua oral prosseguia. A importação de palavras estrangeiras, as mudanças de uso e de pronúncia causaram uma vasta decalagem entre o escrito e o oral que acarreta anos de sofrimentos para as crianças. A voz da razão vota, pois, em favor de uma simplificação das regras ortográficas.

Contudo, antes de reformar, importa compreender bem as origens das irregularidades da ortografia. Para além das vicissitudes da história linguística, a ortografia irregular do francês se explica igualmente pela própria estrutura da língua... e de nosso cérebro, para a escrita de todas as línguas. As duas rotas da leitura, a via fonológica e a via lexical, impõem restrições às vezes contraditórias à escrita de uma língua Deste ponto de vista, o francês, o inglês, o chinês ou o italiano se diferenciam suficientemente para que seja impossível adotar uma solução única e global para a escrita de todas as línguas. Não podemos copiar simples-

mente os italianos – e toda a reforma ortográfica deverá operar com prudência diante de tantas armadilhas.

Para começar, poderíamos como os italianos atribuir majoritariamente uma letra a cada fonema e um fonema a cada letra? Isto não seria tão simples, porque a língua francesa compreende mais fonemas que o italiano. As vogais, em particular, são muito numerosas: a, *e, i,* o, *u*, por certo, mas também as diferenças fonológicas nas vogais das palavras, como em "sot" e "sotte", "bleu" e "beurre" e nos valores assinalados por "é", "è", ou "ê", e ainda há outras vogais nasais representadas por "an", "in", "on" e "un". Se desejássemos denotar cada um destes fonemas por um signo específico, seria necessário inventar novas letras, bem além das 26 do alfabeto. Para evitá-lo, numerosas línguas, ricas em fonemas, tais como o francês ou o inglês, adotaram um compromisso que consiste em registrar certas vogais ou consoantes por grupos de letras tais como "an", "ch", ou "eu". Estes grafemas complexos, longe de serem floreios inúteis, jogam, pois, um papel importante na economia da leitura. Se não é inconcebível substituir alguns por caracteres únicos (as nasais [ã, *õ, ĩ*]), certamente é utópico advogar um sistema de escrita universal no qual os caracteres transcreveriam todas as línguas. Contudo, tal sistema de escrita existe: é o alfabeto fonético internacional (*IPA*) que os fonólogos e linguistas empregam para transcrever as sonoridades de todas as línguas. Mas este alfabeto não é de nenhuma utilidade na vida cotidiana. Ele compreende 170 signos, dentre os quais alguns particularmente estranhos, como ʉ, ɓ, ɕ, ɮ ou ɲ. Mesmo os especialistas consideram difícil decifrá-lo sem a ajuda de um dicionário. Uma conclusão se impõe: na reflexão sobre a evolução da ortografia, a busca de uma solução elegante e universal deve ceder passo ao pragmatismo. Teremos sempre necessidade de grafias apropriadas a cada língua – seja que elas façam apelo a caracteres especiais como "ã", seja, a combinações de caracteres como "an" ou "ch".

Já que não podemos assegurar que uma letra represente um só fonema, não poderíamos, pelo menos, transcrever sistematicamente cada fonema pela mesma letra ou pelo mesmo grupo de letras? Evitar, por exemplo, transcrever, no português, o fonema /s/ tanto pela letra "s", quanto por "ss", "c", "ç", "x", "z", "sc", "sç" ? Não há nenhuma dúvida de que poderíamos nos desembaraçar de numerosas grafias redundantes que parasitam a língua escrita e cuja aprendizagem tumultua os primeiros anos da criança: as múltiplas notações para o fonema /k/, como "c", "q", "qu" ou "k", ou a equivalência entre "ã" , "â", "am" e "an". Adultos,

nós perdemos a consciência do absurdo de nossa ortografia. Mesmo uma letra simples como o "x", pode representar dois e até três fonemas (uso mais frequente). Na Turquia, se toma um "taksi": o exemplo de um país que, no espaço de um ano (1928-1929), adotou o alfabeto latino, simplificou sua ortografia, e ensinou três milhões de pessoas a ler, nos mostra que é possível reformar, com sucesso.

Contudo, mesmo aí, a prudência se impõe, porque uma reforma radical que se contentasse com assegurar a transcrição límpida e fiel da pronúncia das palavras seria provavelmente contraproducente em línguas como o francês, por exemplo. Com efeito, o papel da escrita não se limita ao registro da realização dos fonemas. Voltaire se enganou, quando afirmou de forma bela, mas errônea: "A escrita é a pintura da voz: quanto mais se assemelham, melhor é." Um texto escrito não é um disco de alta fidelidade. Ele não visa a reconstituir a fala tal como a pronunciamos, mas, sobretudo, a codificá-la num nível mais abstrato, a fim de que possamos facilmente recuperar as palavras e o sentido.

Imaginemos por um instante o que poderia ser um sistema de escrita puramente fonética, que Voltaire supunha ótimo. Em função do contexto, as palavras não se escreveriam do mesmo modo. Com efeito, quando falamos, modificamos imperceptivelmente a pronúncia dos sons que constituem a palavra conforme os sons que os rodeiam. A ortografia deveria refletir fielmente os fenômenos de articulação cruzada, dos quais não temos, quase sempre, nenhuma consciência? Por exemplo, deveríamos escrever: "Dojzidojs", sob pretexto de que temos a semivogal [j], que diante de vogal inicial de vocábulo a fricativa fica sonora, formando com ela uma sílaba e antes do silêncio fica surda e que o vocábulo átono fica grudado no vocábulo seguinte? E, no extremo, deveríamos ter em conta o sotaque de acordo com a variedade sociolinguística do locutor, como em "Uzóiu vêrdgi"? Claro que não. O primeiro objetivo da escrita é transmitir as palavras e restituir o significado. Portanto, não é possível adotar uma transcrição servil dos sons pelas letras. Muito frequentemente, a regularidade da transcrição fonética deve ser sacrificada em proveito da coerência da notação das palavras. Por exemplo, não é ilógico escrever "partir", com uma letra que representa o fonema /R/ que, na maioria das variedades, não é pronunciado, para diferenciá-lo de "parti", primeira pessoa do singular do pretérito perfeito do indicativo. É tentador condenar o sistema ortográfico por acrescentar letras inúteis que não são pronunciadas ao final das palavras. Na realidade, a responsabilidade de tais dificuldades se deve à estrutura da língua. Antes mesmo de aprender a ler, cada criança possui uma representação mental da palavra "partir", na qual figura o /r/, do qual ela não é consciente, mas que reaparece quando a palavra seguinte começar por vogal ("partir amanhã"). Neste domínio, a ortografia não é senão a escrava da língua.

Percebe-se, assim, que no caso de muitas línguas, como o francês, o ortógrafo privilegia a transparência dos radicais, em detrimento da regularidade dos fonemas. No português, tal critério não prevalece, porque houve muitas reformas ortográficas que atualizaram os princípios do sistema alfabético, mas muitas vezes ainda vigem as regras de derivação morfológica, como no exemplo "viajem", terceira pessoa do plural do presente do subjuntivo, que se escreve com "j", porque o radical de onde ela deriva se extrai da primeira pessoa singular do presente do indicativo; no entanto, "viagem", substantivo, se escreve com "g", porque deriva do radical de "via", mais o sufixo "agem".

A ênfase dada ao significado explica igualmente por que se dispõe de tantas grafias distintas para os mesmos fonemas (no francês muito mais frequente que no português), como testemunham as palavras "cela" e "sela"; "cassa" e "caça". Se transcrevêssemos estas palavras fonologicamente, seria impossível distingui-las na escrita. As convenções ortográficas evoluíram para levar em conta esta limitação que certamente complica o trabalho do ditado, mas facilita imensamente o do leitor. O aluno que se lamenta diante das inúmeras ortografias do fonema /s/ em "sílaba", "assilábico", "ciência", "consciência", "nasça", "exceto", "exposto", "máximo", "fiz", "quis" deve compreender que estes floreios são indispensáveis à leitura. Sem essas distinções, o texto escrito não seria senão um rébus que o leitor passaria um tempo considerável a decodificar. Graças às convenções ortográficas, a escrita em línguas como o francês aponta mais diretamente ao significado. Toda a reforma ortográfica deverá manter este equilíbrio sutil entre a notação dos fonemas e a dos significados que reflete um fenômeno profundo e inamovível: a existência de duas vias de leitura em nosso cérebro.

O SONHO IMPOSSÍVEL DA TRANSPARÊNCIA ORTOGRÁFICA

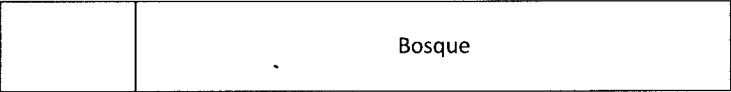
A tensão entre a leitura pelas imagens acústicas e a leitura pelo significado é universal. Todos os sistemas de escrita devem resolvê-la através de um compromisso mais ou menos feliz que depende estreitamente da língua que se procura transcrever. Tomemos o exemplo do italiano. Por que sua ortografia é tão regular e tão fácil de aprender? Poder-se-ia imitar seu exemplo no francês? De fato, a língua italiana apresenta certas particularidades que a tornam fácil de transcrever através de uma

escrita simples. As palavras italianas são longas e contêm com frequência muitas sílabas. Suas concordâncias gramaticais são bem marcadas pelas vogais salientes. Enfim, os homônimos são raros. É a razão pela qual uma transcrição mais regular dos fonemas não coloca dificuldades ao leitor. A língua italiana está perfeitamente adaptada à escolha de uma ortografia transparente: a cada grafema corresponde, em geral, um único fonema, quase sempre independente do contexto, e a cada cadeia de fonemas corresponde, predominantemente, uma palavra precisa, cujo significado e inflexão gramatical são desprovidos de ambiguidade.

No chinês mandarim, assiste-se a um fenômeno inverso ao do italiano. A maior parte das palavras chinesas não comporta senão uma sílaba e, como há em torno de 1.300 sílabas, cada uma delas pode reenviar a dezenas de conceitos muito diferentes (Figura 1.3). Esta é a razão pela qual uma escrita puramente fonética do chinês seria perfeitamente inutilizável: cada um destes rébus poderia ser compreendido de dezenas de maneiras diferentes! Esta é a razão por que os 10.000 caracteres do mandarim transcrevem principalmente palavras, ou mais exatamente, as raízes das palavras – os morfemas. Contudo, a escrita chinesa também emprega marcadores fonéticos que precisam a pronúncia de cada raiz e facilitam o acesso à palavra exata à qual desejamos nos referir. Por exemplo, o caractere chinês (媽) que representa o conceito de "mãe" e se pronuncia como [mā] resulta da composição do morfema que representa o conceito de "mulher" (女), mais um marcador fonético (馬).

Árvore

Quando juntamos umas poucas árvores, temos um:

	Bosque

E, quando juntamos um monte de árvores, teremos uma:

Assim, ao contrário das ideias difundidas, mesmo o chinês não é uma escrita ideográfica pura – cujos elementos denotam os conceitos –, nem logográfica – cujos signos se referem a palavras –, mas, sim, um sistema misto "morfossilábico" onde certos signos se referem às raízes das palavras e outros, à pronúncia[26].

石室詩士食獅史

石室詩士施氏，嗜獅，誓食十獅。氏時時適市視獅十時，適十獅適市，是時，適施氏適市。氏視是十獅，恃失勢，使是十獅逝世。氏拾是十獅屍，市石室。石室濕，氏使侍拭石室。石室試，氏始試食是十獅屍。食時始識是十獅屍實十石獅屍。試釋是事。

História de um poeta consumindo leões numa sala de pedra

Um poeta chamado Shi, morava numa sala de pedra e tinha mania por leões. Havia jurado chegar a consumir, pelo menos, dez. Então, de tempos em tempos, ele se dirigia ao mercado dos leões, por volta das dez horas. Por azar, havia dez, num dia em que Shi foi ao mercado. Percebendo os dez leões, Shi abateu-os, com medo de perdê-los. Depois ele recolheu os cadáveres e os estocou em sua sala de pedra. Como a sala era úmida, Shi ordenou que um empregado a limpasse. Em seguida, Shi começou a provar e a degustar os dez cadáveres de leão e, ao consumi-los, ele soube, finalmente, que o que havia agarrado eram, verdadeiramente, os dez cadáveres de leão. Tente explicá-lo!

Shi, primeiro tom
詩 poeta, poema
獅 leão
施 nome, aplicar
失 perder
屍 cadáver
濕 úmido
識 conhecer, conhecimento
Shi, segundo tom
石 pedra
食 consumir
十 dez
時 hora
拾 recolher
實 verdadeiro, realidade
Shi, terceiro tom
史 história
使 comandar, enviar
始 começar

Shi quarto tom
室 sala
士 pessoa
嗜 ter a mania de
(施)氏 demonstrativo
誓 jurar, juramento
適 chegar, adaptar, conveniente
是 sim, esse, aquele
視 olhar
恃 apreender, depreender
勢 situação, poder
逝 deixar, passar
世 mundo
市 mercado, estocar
拭 limpar
試 provar
釋 explicar
事 coisa, negócio

Figura 1.3 A despeito das aparências, a ortografia obedece a certa lógica. O mais irregular dos sistemas parece ser a escrita chinesa que chega a utilizar de vinte a trinta caracteres para o mesmo som. Contudo, essa redundância não é inútil, porque o chinês compreende numerosos homófonos. Nesse exemplo incomum, todas palavras se pronunciam *Shi*! Apesar de esse texto ser desprovido de qualquer qualidade literária, seja qual for o leitor do chinês, pode compreendê-lo, o que não seria o caso, se fosse transcrito foneticamente. A ortografia chinesa desambigua os sons, com a ajuda de caracteres distintos, conforme o significado da palavra. É pela mesma razão que a ortografia francesa conserva muitas grafias diferentes para os mesmos fonemas, como em "si", "six", "scies", "scient"... Existe certa lógica para que a ortografia do francês não seja transparente.

É claro que é mais difícil aprender a ler o chinês do que decifrar o italiano. É necessário aprender milhares de signos no primeiro caso, enquanto no segundo basta adquirir algumas dezenas de correspondências entre grafemas e fonemas. O italiano (e também o espanhol e o português) e o mandarim ocupam, assim, os extremos de uma escala de "transparência ortográfica", onde o francês e o inglês se situam numa posição intermediária[27]. No francês falado, como no inglês, as palavras são muito curtas e os homófonos frequentes (*right*, *write*, *rite*; *mais*, *mes*, *mets*). Para fazer face a estes limites, a ortografia do francês e do inglês incorpora uma mistura de transcrição fonológica e lexical. Este fenômeno é fonte de dificuldades ortográficas para a escrita, mas, uma vez ultrapassados os anos difíceis de aprendizagem, ele simplifica a tarefa do leitor.

Em resumo, recém começamos a compreender os limites cruzados que modelam a ortografia. Em relação ao francês, não seria temerário enfrentar a reforma? Creio, contudo, que uma simplificação profunda se impõe. Nós a devemos às nossas crianças que perdem centenas de horas neste jogo cruel, do qual alguns não sairão indenes, estigmatizados como disléxicos ou, simplesmente, porque são provindos de famílias desfavorecidas ou multilíngues: são as primeiras vítimas da ortografia arcaica do francês. Espero que a próxima geração, acostumada à linguagem abreviada da Internet e dos celulares, cessará de considerar esta questão como um tabu e saberá encontrar a vontade de abordar essa questão de uma forma racional. Mas a questão não se reduzirá a adotar uma solução simples, a do "tudo fonológico". Com seus numerosos homófonos, o francês jamais poderá ser escrito de forma tão simples quanto o italiano. O sonho de uma língua escrita, estritamente regular, sem dúvida, não é senão uma ilusão, como o sugere, com humor, este pequeno panfleto que circula entre a comunidade europeia, há alguns anos:

> "Os comissários da União Europeia anunciaram que foi firmado um acordo para adotar o inglês como a língua preferida para as comunicações europeias e não o alemão, que era a outra possibilidade. Como parte das negociações, o governo britânico concordou com que a ortografia do inglês abra um espaço para melhorias e aceitou um plano com fases durante cinco anos para o que será conhecido como euro-inglês (abreviadamente euro).
>
> No primeiro ano, o "s" será utilizado ao invés do "c" antes das vogais anteriores. Sertamente, os empregados sivis resseberão esta notíssia com alegria. Também o "c" que se usa antes das vogais posteriores será substituído por "k". Não só isto klareará a
>
> *continua*

> konfusão, komo os datilógrafos konseguirão dispor de uma letra a menos. O entusiasmo públiko kresserá no segundo ano, quando o problemátiko "ph" for substituído por "f". Isso fará kom ke palavras komo "fotógrafo" fiquem 20% mais kurtas.
>
> No terseiro ano, espera-se ke a asseitassão pelo públiko da nova ortografia tenha atingido o estágio quando mudansas mais komplikadas se tornem possíveis. Os governos enkorajarão a remoção de letras duplas que sempre foram um entrave para a ortografia akurada. Todos também kõkordarãw qui a terrívew kõfuzãw kawzada pelu "e" mudu na língua é dezastroza e kõtinuarãw. No kwartu ano as pesoas serãw reseptivas a pasos tais komu a substituisãw do "th" por "z" e do "w" por "v". Durãti o ki]tu ano, o "o" desnesesário poderá ser eliminadu de palavras que kõtiverj "ou" i mudãsas similáris kõ serteza serãw aplikadas a otras kõbinasõjs di letras.
>
> Depojz destxi kĩtu anu, teremuz ũ istchílu iskritu Reawmẽtxi sẽsívẽw. Nãw averá majs problemaz ow djifikuldadjiz itoduz axarãw fásiw ĩtedẽrsi. Usôniw finawmẽtxi siRealizará!

AS DUAS VIAS DA LEITURA

Em resumo: todos os sistemas de escrita oscilam entra a escrita dos significados e a dos fonemas. Esta distinção se reflete diretamente no cérebro do leitor. A maior parte dos modelos de leitura postula que duas vias de tratamento da informação coexistem e se completam. Quando lemos palavras raras, novas, com ortografia regular (vejam-se os neologismos inventados de todo o tipo), nossa leitura passa por uma via fonológica que decodifica os grafemas e deduz uma pronúncia possível e depois tenta acessar a significação. Inversamente, quando somos confrontados com palavras frequentes ou irregulares, nossa leitura assume uma via direta, que recupera desde o início a palavra e seu significado e depois utiliza estas informações para recuperar a pronúncia (Figura 1.4).

A melhor prova da existência dessas duas vias provém da neuropsicologia – o estudo das consequências das lesões cerebrais. Certos pacientes, após um acidente vascular, perdem a capacidade de converter os grafemas em fonemas[28]. Estas pessoas, que aprenderam a ler normalmente, desenvolvem após uma lesão cerebral o que denominamos de "dislexia profunda", ou uma "dislexia fonológica". Como sua via de conversão dos grafemas em fonemas está severamente deteriorada, elas não conseguem pronunciar palavras raras, mas regulares, como "sextante" e, sobretudo, neologismos e palavras inventadas, como "decafeinado" ou "calotura". Contudo, elas conservam uma boa compreensão das palavras mais frequentes e conseguem, em geral, pronunciar mesmo as mais irregulares, tais como "muito" e "trouxe".

Às vezes, elas operam deslizamentos de sentido e leem, por exemplo, "carne", ao invés de "bife" ou "artista" ao invés de "pintor". A própria natureza destes erros bem demonstra que o acesso ao significado permanece preservado, ao mesmo tempo em que o acesso às imagens acústicas está falho: como o paciente poderia se aproximar do significado correto, se ele não tivesse, ao menos em parte, compreendido o sentido da palavra que ele procura ler? Entre tais pacientes, as palavras podem ser reconhecidas, pelo menos parcialmente, enquanto sua pronúncia tornou-se inacessível.

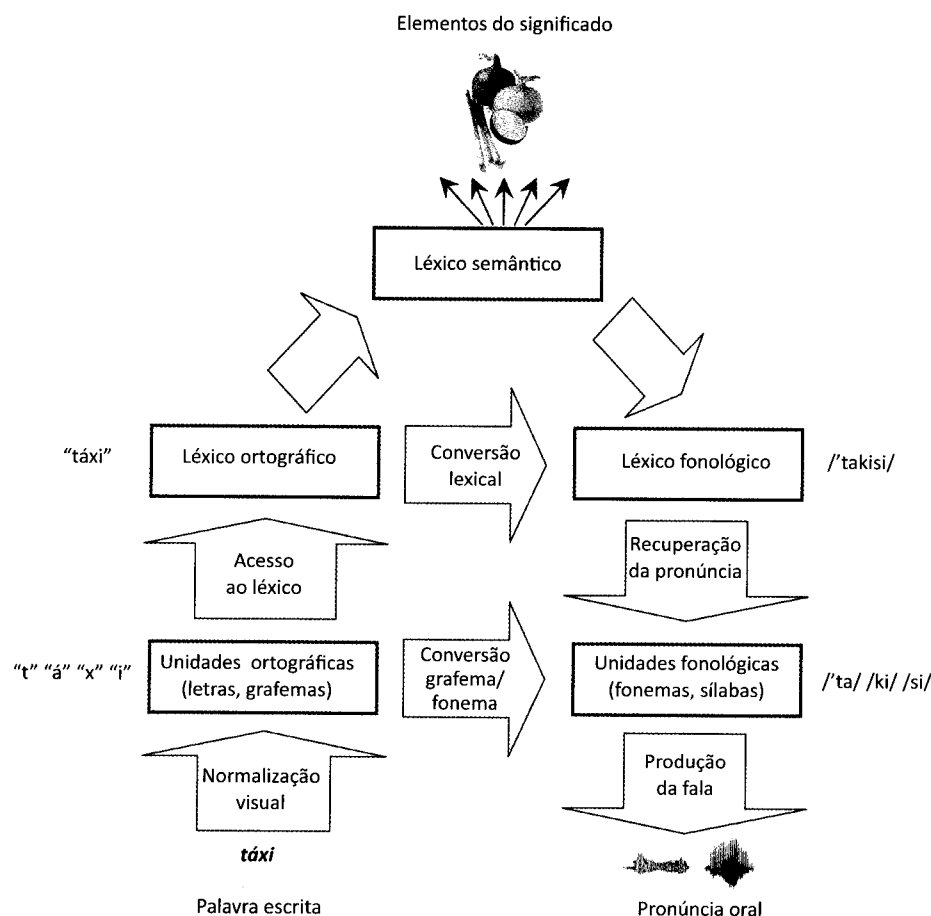



Figura 1.4 A leitura de uma palavra empresta múltiplas vias paralelas do tratamento da informação. Para passar da palavra escrita (embaixo, à esquerda), nosso cérebro dispõe de várias vias, aqui grosseiramente esquematizadas, sob a forma de uma hierarquia de caixas e flechas. Quando uma palavra é irregular, como "táxi", representações mais profundas são implicadas. Podemos compará-las a léxicos mentais que associam a sucessão de fonemas ao significado.

Pode-se, igualmente, observar a patologia inversa: certos pacientes, que sofrem de outra síndrome denominada "dislexia de superfície", não acessam mais as palavras pela via direta. Eles precisam pronunciar as palavras para compreendê-las. Os limites da "voz muda" se revelam, então, claramente. Tais pacientes, com efeito, conseguem ainda ler palavras regulares como "parede" e mesmo neologismos como "padava", mas não palavras irregulares. Leem estas últimas regularizando-as, como se as tivessem pronunciando normalmente. Tal paciente lerá "exu" como /e'zu/ e depois afirmará de boa fé que não conhece tal palavra.

O estudo comparado destes dois tipos de pacientes confirma que existem, com certeza, duas vias de leitura. Mas ele prova, sobretudo, que nenhuma destas vias, sozinha, é suficiente para ler todas as palavras. A via direta, que passa das letras às palavras e a seu significado, permite ler a maior parte das palavras muito frequentes, mas ela falha diante das palavras novas que não fazem parte do léxico mental. Inversamente, a via indireta, que passa desde o início dos grafemas às imagens acústicas e delas ao seu significado, joga um papel crucial na aprendizagem das palavras novas, mas é ineficaz para as palavras irregulares como "exu" e para os homófonos como "sela" e "cela". Quando lemos em voz alta, as duas vias conspiram e uma colabora com a outra. Cada uma delas aporta sua contribuição à pronúncia das palavras. A maioria dos sons se deduz da sequência dos grafemas, graças à via de conversão dos grafemas em fonemas, enquanto as ambiguidades são resolvidas rapidamente por uma tática dos níveis superiores, o léxico ortográfico das palavras e seu sentido. Conforme a palavra a ser lida – conhecida ou não, frequente ou rara, regular ou irregular – e conforme a tarefa submetida – leitura em voz alta ou compreensão do texto –, a respectiva contribuição das duas vias será preponderante ou menor.

Entre as crianças, a coordenação destas duas vias não é sempre efetiva. Algumas crianças utilizam, sobretudo, a via direta e fazem uma leitura de adivinhação, lendo um nome sinônimo daquele desejado ("lanche" em vez de "merenda", por exemplo). Outras gaguejam uma pronúncia estranha a partir das letras, mas permanecem bloqueadas ao nível dos sons sem jamais compreender o significado. É somente depois de muitos anos de aprendizagem que as duas vias terminam por se integrar uma à outra, a ponto de produzir, no leitor adulto, a aparência de um sistema único e integrado de leitura.

A maior parte dos modelos psicológicos contemporâneos está de acordo, assim, em pensar que a leitura proficiente e fluente resulta de

uma coordenação estreita entre as duas vias de leitura. Nos anos de 1980 a 1990, verificamos, contudo, o florescimento de tentativas de modelagem de tais resultados por uma via única. Na época, os modelos de redes neuronais suscitaram um choque considerável. Alguns pesquisadores acreditaram ter então encontrado o seu gral: uma máquina universal de aprendizagem, desprovida de toda a arquitetura inicial, que descobriria sozinha as regularidades da leitura sem que fosse necessário organizá-la por vias múltiplas. Assim, imaginava-se que seria suficiente conectar as entradas visuais que representam as letras, com saídas auditivas que representam os sons e fazer rodar um possante algoritmo de aprendizagem. Obter-se-ia uma rede de uma só via que chegaria a simular não somente a leitura normal, mas também suas patologias, sem que fosse necessário postular as vias múltiplas da leitura.

Apesar de estas redes neuronais terem representado à época avanços notáveis, em especial na modelagem da passagem dos grafemas aos fonemas[29], a maior parte dos pesquisadores considera atualmente que este enfoque não é suficiente. Não se pode dispensar uma análise da arquitetura dos processos cerebrais, e essa está organizada de acordo com as vias paralelas e parcialmente redundantes. Praticamente todos os modelos recentes, mesmo aqueles que repousam sobre as redes neuronais, incorporam hoje a ideia essencial das vias múltiplas da leitura[30]. De fato, quando abordarmos as bases cerebrais da leitura, verificaremos que a organização em vias múltiplas e paralelas é um traço essencial da arquitetura do córtex. Assim, os modelos de duas vias subestimam, na verdade, a complexidade e a divergência das vias neuronais da leitura. Contudo, a separação fundamental entre uma via de conversão grafemas-fonemas, e uma via de acesso ao significado permanece, numa primeira aproximação, uma distinção essencial.

ENCICLOPÉDIAS ENCHEM A CABEÇA

Ao aceitarmos a via fonológica como a conversão dos grafemas em fonemas, poderíamos imaginar que a leitura passaria pela aplicação de um pequeno número de regras simples. Afinal, nosso alfabeto não compreende senão 26 letras: o número de grafemas (incluindo os diacríticos) não ultrapassa o de 72, no português. Contudo, se considerarmos agora a via lexical, aquela que reconhece as palavras familiares, é necessário imaginar uma estocagem maciça de dezenas de milhares de palavras

numa espécie de dicionário que os psicólogos chamam de "léxico mental". Sem dúvida, seria necessário falar de léxicos no plural. Com efeito, as informações que são ali registradas são de várias naturezas.

Pode-se, de saída, isolar o léxico ortográfico que estoca a imagem escrita das palavras, ou melhor, sua estrutura ortográfica abstrata. Trata-se de uma árvore hierárquica de grafemas que foi descrita anteriormente. A palavra "táxi", por exemplo, ali estaria codificada por uma hierarquia de grafemas "t" "á" "x" "i". Vem, em seguida, o léxico fonológico, onde está registrada a pronúncia das palavras – o fato de que "táxi" se pronuncia como a realização de /ˈtakisi/. Não esqueçamos a informação gramatical, que especifica que "táxi" é um substantivo, que é masculino, que tem um plural regular (*defaut*) e assim sucessivamente. Enfim, cada palavra está associada a dezenas de informações semânticas que precisam os significados: táxi é um veículo, que transporta passageiros, que cobra uma tarifa, que tem um motorista, etc.

Para dar conta do funcionamento da via lexical, a imagem mais apropriada é, portanto, a de uma coleção de dicionários, cujas páginas se abrem sucessivamente à medida que acessamos a informação. Nosso cérebro abriga uma biblioteca em muitos volumes, desde o guia ortográfico até o manual de pronúncia e o grande dicionário enciclopédico.

Quantas entradas estes dicionários mentais compreendem? A maior parte das pessoas subestima a extensão de nossos conhecimentos lexicais de forma grosseira. Alguns propagam sem refletir a ideia difundida de que Racine ou Corneille não se expressavam senão com alguns milhares de palavras. Circula a ideia de que o *Basic English*, uma versão simplificada do inglês que não compreende mais do que 850 palavras, permite dizer tudo com eficácia, e alguns afirmam que o léxico de alguns jovens se reduz a 500 palavras!

Todas estas ideias são falsas. Dispomos de excelentes estimativas sobre o tamanho do vocabulário de uma pessoa comum, e elas sobem facilmente a dezenas de milhares de palavras. Um dicionário arrola frequentemente 100.000 entradas. Entre elas, uma avaliação estatística permite estimar que um indivíduo médio conheça cerca de 40.000 ou 50.000 palavras – sem mesmo levar em consideração as palavras compostas. A isto se soma uma quantidade também considerável de nomes próprios, de acrônimos (USP, ECT), de siglas (Coca-Cola, TELECOM), de nomes estrangeiros, etc. No total, cada um dos léxicos de nosso cérebro compreende, sem dúvida, entre 50.000 a 100.000 entradas. Mede-se melhor o extraordinário desempenho de nosso aparelho de leitura, que é capaz de acessar, em algumas de-

zenas de segundos, a partir de alguns traços sobre a retina, a palavra apropriada entre, no mínimo, 50.000 candidatas.

UMA ASSEMBLEIA DE DEMÔNIOS

Vários modelos de acesso ao léxico mental chegam hoje a reproduzir os desempenhos da leitura humana, em condições próximas aos limites impostos por nosso sistema nervoso. Praticamente todos repousam, mais ou menos sobre as ideias fundadoras de Oliver Selfridge, o qual, para dar conta das operações postas em prática no reconhecimento das letras, propôs, desde 1959, a metáfora de uma reunião de demônios ou "*pandemonium*"[31].

Nesta alta comparação em cores, falta-nos imaginar um imenso hemiciclo – o léxico mental – onde estão reunidas dezenas de milhares de demônios em competição. Cada demônio é o representante de uma palavra. Ele está bem cônscio de se fazer valer, gritando vigorosamente uma vez que acredita que sua palavra deva ser defendida. Quando uma palavra aparece na retina, todos os demônios a examinam simultaneamente. Em seguida, eles se manifestam se estimam que sua palavra tenha boas chances de estar presente. Assim, quando surge a palavra "caramelo", o demônio que representa esta palavra se põe a urrar. Contudo, seu vizinho que acreditou ver "carmelo" (convento dos carmelitas), também se agita. Caramelo ou carmelo? Depois de um breve período de competição, o defensor de "carmelo" tem que admitir – fica claro que seu adversário encontra no estímulo "caramelo" mais argumentos a seu favor. A palavra é enfim reconhecida e sua identidade poderá ser transmitida pelo demônio vencedor ao resto do cérebro.

Sob a simplicidade aparente dessa metáfora, discernem-se várias ideias centrais sobre o funcionamento do sistema nervoso no curso da leitura:

- **Tratamento em paralelo**: todos os demônios trabalham ao mesmo tempo. Não é necessário examinar cada uma das 50.000 palavras uma a uma. Resulta um extraordinário ganho de tempo em relação a um modelo serial que requereria um tempo muito mais longo, tanto maior quanto mais denso o dicionário mental.
- **Simplicidade de funcionamento:** cada demônio cumpre um trabalho elementar. Ele se contenta em examinar em que medida a palavra que lhe é atribuída corresponde às letras apresentadas na entrada. Mesmo se apresentarmos metaforicamente os demônios como seres de carne, dotados de intenções, sua atividade não é senão pura mecânica. O modelo do *pandemonium* não sucumbe, pois, ao paradoxo do *homunculus*, esse homem pequeno que, na psicologia *naïve*, é reputado por governar nosso cérebro (mas quem, então, controla o seu? Outro *homunculus* menor?). O modelo do *pandemonium* segue o preceito do filósofo Daniel Dennett: "Elimina-se o homúnculo, organizando exércitos de idiotas para fazer o trabalho[32]."
- **Competição e robustez**: Os demônios se disputam o direito de representar a palavra correta. Esta competição confere ao modelo robustez e flexibilidade. O *pandemonium* se adapta automaticamente à dificuldade do problema em curso. Se não houver outros competidores plausíveis, mesmo uma palavra rara e mal ortografada, como "astrqlábio" poderá ser reconhecida corretamente e em tempo muito breve. Com efeito, o demônio que a representa, mesmo se ele gritar com menos força, sempre vencerá os outros com vantagem clara. Ao contrário, se a palavra for "bela", numerosos demônios (mela, dela, sela, tela, pela, vela, zela, gela, rela, nela, bola, bala, bula, beta, beca, berra, belo) vão ser ativados e ao demônio de "bela" serão necessários fortes argumentos para se impor.

Ora, e está aí todo o interesse da metáfora proposta por Selfridge: essas propriedades do modelo de *pandemonium* correspondem às características de nosso sistema nervoso. Composto por aproximadamente cem mil milhões de neurônios (10^{11}), ele é o arquétipo de um sistema maciçamente paralelo, no qual múltiplos elementos efetuam, em paralelo, operações simples e formam coalizões que entram em competição umas com as outras por intermédio de sinapses excitantes ou inibidoras.

É assim que o *pandemonium* de Selfridge inspirou numerosos modelos teóricos de redes de neurônios implicados na leitura. A Figura 1.5 (p. 60) apresenta um dos primeiros. Foi proposto por McClelland e Rumelhart em 1981[33]. Ali vemos unidades organizadas em três níveis hierárquicos:

- bem embaixo, na entrada, os neurônios sensíveis aos traços presentes sobre a retina;
- no meio, os detectores de letras;
- enfim, no alto, as unidades que as codificam para as palavras.

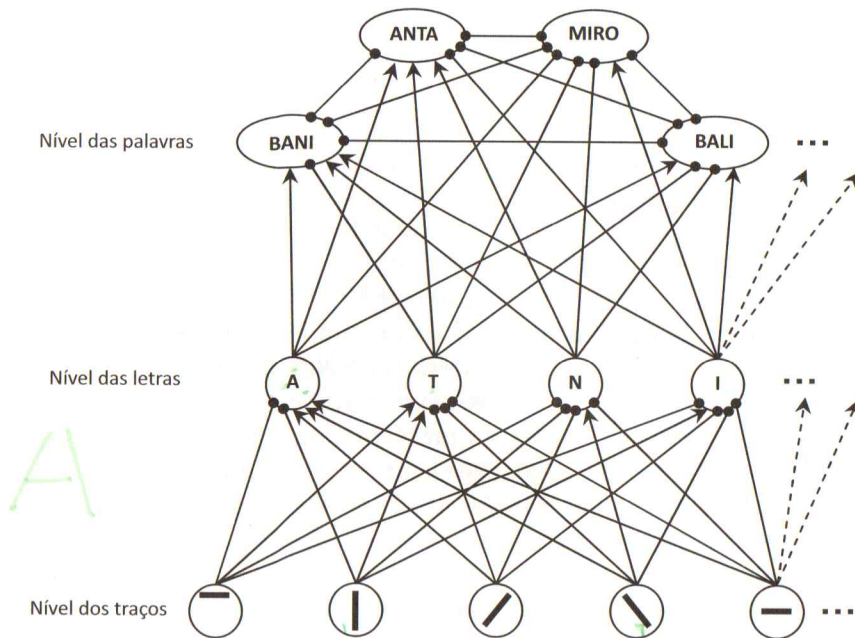



Figura 1.5 Nosso sistema cerebral de leitura se parece a uma vasta assembleia, na qual milhares de palavras e de letras conspiram a fim de propor a melhor interpretação possível à palavra percebida. Conforme o modelo de McClelland e Rumelhart (1981), do qual vemos aqui um fragmento, os traços elementares da cadeia de caracteres apresentada na entrada ativam os detectores de letras, os quais, por seu turno, ativam preferencialmente as palavras que os contêm. As ligações são excitadoras (flechas), mas também inibidoras (traços terminados por círculos). Da competição entre as unidades lexicais emerge uma palavra dominante que representa a melhor hipótese do que nos podemos emitir sob o estímulo apresentado.

Um formigamento de conexões religa estes elementos. Essa enorme conectividade transforma a dinâmica da rede num complexo jogo político no qual as letras e as palavras ou se sustentam, se censuram ou se eliminam mutuamente. Os feixes de conexões definem os subconjuntos de unidades que se apoiam entre si ou, ao contrário, entram em competição. Examinemos sua organização mais de perto. No diagrama da Figura 1.5, distinguem-se conexões excitantes, simbolizadas por pequenas flechas e outras inibidoras, representadas por pequenos círculos: são as conexões que propagam os "votos" de cada um dos demônios. Cada detector de traço, por exemplo, envia excitações em direção às letras que as contêm – seria possível dizer que cada neurônio visual "vota" pela presença de uma letra ou de várias letras. Do mesmo modo, os detectores de letras conspiram para apoiar essa ou aquela palavra – a presença de um A e de um B sustenta fortemente "BANI" e "BALI", um pouco "ANTA" e de nenhum modo "MIRO".

As conexões inibidoras jogam um papel primordial na seleção do melhor candidato. Com efeito, a inibição veicula o que poderíamos chamar de "voto de censura". Por um lado, as letras votam contra as palavras que não as contêm. Por outro, as palavras em competição se inibem mutuamente: a identificação da palavra "BANI" não é compatível com a presença da palavra "BALI" e vice-versa.

Existem, finalmente, conexões descendentes, desde as palavras em direção às letras: como a Câmara de Deputados, as letras se fazem representar por palavras que, em retorno, sustentam as letras que votam por elas... Tal sistema permite a formação de condições estáveis, capazes de resistir à ausência ocasional de algumas unidades: se uma letra "o" falta na chamada de "crocqdilo", por exemplo, seus vizinhos conspiram em seguida para eleger a palavra "crocodilo" e esta última palavra votará, em retorno, em favor da letra "o", mesmo que ela não esteja fisicamente presente. No total, milhões de conexões incorporam numerosos limites que religam os níveis das palavras, das letras e dos traços.

Outras sutilezas são igualmente úteis para um funcionamento harmônico do conjunto. Por exemplo, nem todas as unidades detonam obrigatoriamente do mesmo modo: algumas têm necessidade de mais votos que outras. Com sustentação igual, uma palavra que encontramos, com frequência, terá mais chances de ganhar a competição do que uma palavra rara.

Por causa de todos estes floreios, nem sempre é fácil adivinhar, quando se apresenta uma série de letras na entrada, qual vai ser o comportamento do sistema. A dinâmica da rede é tão complexa que não se sabe analisá-la completamente no plano matemático. Uma simulação por computador torna-se, então, indispensável. Somente ela permite medir em quanto tempo e com qual taxa de erros, o sistema convergirá em direção à palavra apropriada.

A LEITURA PARALELA

Por que os psicólogos se preocupam com modelos tão complexos de leitura? Eles têm uma boa razão para isto: esses modelos produzem predições que concordam de modo notável com os resultados da psicologia experimental. Não só os modelos inspirados no *pandemonium* chegam a reproduzir resultados dos experimentos clássicos, mas cada vez,

com mais frequência, eles chegam à descoberta de fenômenos novos, muitas vezes bastante sutis.

Imaginemos que vocês tivessem que programar em seu computador pessoal, um software para o reconhecimento de palavras. Seja qual for o modo escolhido, é quase certo que, quanto mais longa a palavra, mais tempo o programa levará para responder. Será natural, por exemplo, você decidir tratar as letras uma depois da outra, da esquerda para a direita. Uma vez que o microprocessador trata as instruções uma a uma, espera-se que uma palavra de seis letras tome o dobro de tempo que uma palavra de três letras.

Ora, isto não acontece assim com nosso cérebro. Nos adultos bem treinados, o tempo de leitura das palavras não depende de sua extensão. Tanto faz que as palavras compreendam seis letras ou menos, seu reconhecimento leva um tempo constante, independente do número de letras que as componham[34]. É totalmente evidente que nós dispomos de um mecanismo paralelo de apreensão das letras. Esse resultado não é compatível com a metáfora de um computador serial, que escanearia os caracteres um a um. Ao contrário, ele se conforma precisamente com as predições do *pandemonium*, no qual milhares de processadores ultra-especializados trabalham em paralelo em todos os níveis – traços, letras e palavras.

A DECODIFICAÇÃO ATIVA DAS LETRAS

Sigamos a metáfora informática. Num programa clássico, o tratamento da informação se faz naturalmente, etapa por etapa, do mais simples ao mais complexo. É necessário começar pelo reconhecimento das letras antes de reuni-las em grafemas, depois em palavras. Pode-se apostar, a partir de então, que um fiasco já na primeira etapa se traduziria por um fracasso completo no reconhecimento. Confundir de saída uma letra com outra seria catastrófico para a sequência das operações. De fato, os melhores softwares de reconhecimento do texto permanecem frágeis e muito sensíveis à menor degradação da página que lhes apresentarmos para ler – alguma poeira sobre a fotocópia, e uma página que nos parece legível se torna para o computador um galimatias (discurso arrevesado, confuso, obscuro; babel de palavras cujo sentido mal se pode entender).

O que acontece com nosso cérebro? Para o saber, leia rapidamente a frase seguinte:

Este pássara verde tem um bicc bonito

Inconscientemente, o seu cérebro acabou de resolver sem esforço toda uma série de dificuldades que teriam confundido o computador. Você observou que, na palavra "pássaro", as letras "o" e "a" têm exatamente a mesma forma? Tomou consciência de que a vogal "u" que começa a palavra "um" é, de fato, a consoante "v", estritamente idêntica à da palavra "verde"? E você percebeu que as duas últimas letras da palavra "bico" são as mesmas? A ambiguidade fica resolvida pelo contexto: "bicc" não seria uma sequência de letras correta em português, enquanto a interpretação "bico" convém ao mesmo tempo do ponto de vista da pronúncia e do sentido. Em resumo, as ambiguidades que fariam falhar os melhores softwares não paralisam a leitura humana: as conspirações das letras, das palavras e do contexto da frase conferem a nosso aparelho de leitura uma extraordinária robustez.

Portanto, é o cérebro que impõe uma organização à página escrita. Como o dizia de forma tão justa Alberto Manguel, é o olho perspicaz do leitor que confere vida ao texto – ou melhor, seu cérebro! Sem a ação de nosso léxico mental, a palavra escrita permaneceria "letra morta". A identificação das letras e das palavras é um processo ativo de decodificação no qual o cérebro acrescenta a informação ao sinal visual.

Os psicólogos descobriram uma manifestação notável em tal decodificação ativa: o efeito da superioridade das palavras. Na experiência clássica elaborada por Reicher, pergunta-se a um leitor adulto qual de duas letras (por exemplo, S ou T) foi brevemente apresentada na tela. Em alguns ensaios, a letra é apresentada sozinha. O nível de dificuldade é ajustado através do mascaramento da letra por outra imagem (em geral, uma série dos caracteres ####) a fim de que a pessoa não chegue senão raramente a escolher a letra correta. Noutros ensaios, apresenta-se a mesma letra S ou T no contexto de uma palavra (por exemplo, CURSO ou CURTO). Observe bem que as letras que foram acrescentadas, CUR, não acrescem nenhuma informação que permita identificar a letra crítica, já que são idênticas nos dois casos. No entanto, em presença de tais letras redundantes, os desempenhos são bem melhores! Observa-se um aumento considerável, da ordem de 10% na capacidade de identificar uma letra no contexto de uma palavra. Esse fenômeno persiste quando a letra for inserida num neologismo (SITE) ou numa cadeia de consoantes que se assemelhe de modo suficiente a uma palavra (PRTO)*, mas não numa série aleatória de letras (QHMT)[36].

De novo, seria difícil explicar tal fenômeno perceptivo num modelo informático linear, onde a identificação das letras precederia de modo estrito sua combinação em unidades maiores. Ao contrário, o efeito da

superioridade das palavras descoberta por Reicher sublinha de novo a redundância e o paralelismo de nosso reconhecimento visual das palavras. Não podemos reconhecer uma letra sozinha sem nos beneficiarmos imediatamente do contexto no qual ela é apresentada. Tal contexto, se ele forma uma palavra ou um fragmento de palavra, permite o acesso a níveis suplementares da codificação (grafemas, sílabas, morfemas), onde os "votos" se reúnem aos das letras, facilitando a percepção. A maior parte dos modelos de leitura explica o efeito de Reicher, na suposição de que as interações entre letras e palavras funcionam nos dois sentidos: as unidades de nível superior conspiram para favorecer a detecção das letras que são compatíveis com sua própria interpretação. Assim, o que nós vemos depende do que nós acreditamos ver.

CONSPIRAÇÕES E COMPETIÇÕES NO SEIO DO LÉXICO

A metáfora informática que faria do leitor humano um simples *scanner* (periférico que realiza a transformação de imagens em dados digitais, gerados na forma de uma matriz de pontos) se mostra manifestamente inadequada. A decodificação das palavras não procede de modo estritamente sequencial e o tempo, que levamos para ler uma palavra, não é totalmente previsível através do número de letras que ela contém. Retornemos, mais uma vez, ao modelo da reunião dos demônios. Quanto tempo é necessário a uma reunião de pessoas para chegar a um acordo sobre uma moção importante? Pode-se supor que tal "tempo de convergência" não dependa tanto do conteúdo da própria moção, mas sim dos debates que ela suscita. Se todos os deputados estiverem de acordo, mesmo um texto complicado poderá ser adotado num período bem curto. Ao contrário, um aspecto pontual da legislação, se ele tocar num ponto sensível, pode desencadear uma longa polêmica antes de um acordo ser encontrado.

Acontece exatamente o mesmo no cérebro do leitor. O reconhecimento de uma palavra exige que múltiplos sistemas cerebrais entrem em acordo sobre uma interpretação unívoca da entrada visual. O tempo que empregamos para ler uma palavra depende, pois, menos de suas propriedades intrínsecas do que dos conflitos ou das condições a que ela induz no seio de nossa arquitetura cerebral.

Ao longo dos anos, a psicologia experimental revelou que tais conflitos poderiam ter origem em todos os níveis do tratamento. No seio do léxico, por exemplo, as palavras entram em competição entre os "vizinhos": assim são nomeadas as palavras muito próximas, que partilham todas as letras menos uma[37]. A palavra "mala", por exemplo, tem como vizinhas as palavras "bala", "pala", "tala", "gala", "cala", "fala", "vala", "sala" e "rala", enquanto "grupo" é um eremita, desprovido de vizinhos. Conclui-se que o número e, sobretudo, a frequência relativa dos vizinhos jogam um papel crucial no tempo de reconhecimento de uma palavra[38].

Muitas vezes, ter numerosos vizinhos pode ser uma coisa boa. Por exemplo, dada uma frequência igual, quanto mais vizinhos uma palavra possuir, menos tempo levaremos para dizer que ela pertence ao léxico de uma dada língua, como o francês. A presença de vizinhos torna a palavra "loir" (camundongo) mais típica do francês que a palavra "drap" (lençol). As vizinhas muito habitadas fornecem do mesmo modo condições privilegiadas para a aprendizagem: temos numerosas ocasiões de aprender a pronúncia de palavras pequenas terminadas por "ala", mas poucas experiências com a terminação "ur", que é, sem dúvida, pior codificada ao nível visual e fonológico.

Contudo, os vizinhos podem da mesma forma se revelar invasores. Compreender ou nomear uma palavra demanda com frequência identificar de modo único, e, portanto, separá-la claramente de suas vizinhas – o que pode ser particularmente difícil se elas aparecerem com uma frequência maior na língua[39]. Assim, a palavra "bala" será reconhecida com lentidão, porque ela entra em competição com palavras muito frequentes tais como "cala," "fala", "vala", "sala" e "rala". Do mesmo modo, "dom", que é uma palavra rara, sofre da proximidade de uma invasão vizinha, a palavra muito frequente "com". Nosso léxico é uma arena onde a competição é rude e a vantagem vai em direção aos "habituais", isto é, às palavras mais frequentes.

A competição intervém igualmente no seio da via de conversão dos grafemas em fonemas. Por que a palavra "embrulhar" toma mais tempo para ler em voz alta que "melodioso"? Em "embrulhar", como unidades de leitura há os grafemas complexos "em" e "lh", cujas pronúncias se distanciam radicalmente das letras isoladas "e", "m", "l" e "h". Em "melodioso", ao contrário, todas as letras se pronunciam de uma forma simples e direta. A psicologia experimental põe em evidência esse conflito latente entre o nível das letras e o dos grafemas – existe no curso da leitura dos grafemas complexos um breve período de competição inconsciente, cujo resultado se encontra em algumas dezenas de milissegundos, mas que ocasiona diminuição em relação a uma palavra simples como "melodioso"[40].

É digno de nota que a maior parte desses conflitos se resolve automaticamente, sem que tenhamos necessidade de intervir ativamente. As-

sim que nosso sistema nervoso encontra uma ambiguidade, a regra fundamental é deixar todas as possibilidades abertas – o que não é possível senão num sistema maciçamente paralelo, onde muitas interpretações possam ser consideradas simultaneamente. Assim, os níveis de tratamento seguintes podem trazer seus próprios elementos de interpretação, até que uma solução globalmente satisfatória seja encontrada. Em certos casos, só o contexto da frase permite decidir o sentido de uma palavra, ou mesmo sua pronúncia (no caso de homógrafas não homófonas), por exemplo, nas famosas frases no francês "les poules du couvent couvent" ("as galinhas do convento chocam"), em que nas duas últimas palavras, na primeira, o acento cai em "vent" e, na segunda, o acento cai em "couv". No português uma equivalência ocorreria numa frase como "Pelo o pelo do gato", ou "Gosto do gosto de laranja". A experiência sugere que em tais casos todas as interpretações possíveis da palavra sejam inconscientemente ativadas em paralelo, antes que o contexto permita selecionar uma das significações possíveis[41]. Nossos processos de leitura são tão eficazes que é bem raro que tomemos consciência dessas ambiguidades, como no seguinte exemplo: "O juiz cassou a deputada."

DO COMPORTAMENTO AOS MECANISMOS CEREBRAIS

Ao longo deste primeiro capítulo, examinamos como a psicologia cognitiva decompôs as etapas sucessivas da leitura. Desde o tratamento da imagem pela retina até o reconhecimento da invariância das letras, o acesso à pronúncia, o reconhecimento dos morfemas e a resolução dos conflitos entre esses diferentes níveis de representação, a mecânica humana da leitura nos assombra por sua impressionante eficácia. Numa fração de segundo e sem nenhum esforço consciente, nosso sistema nervoso resolve um problema de reconhecimento visual que permanece fora do alcance dos softwares atuais. Ele o faz com meios praticamente ótimos, dada a resolução do captor do olho: reconhecimento paralelo dos caracteres disponíveis, resolução das ambiguidades, acesso rápido a uma palavra entre 50.000 possíveis...

A eficácia dos algoritmos da leitura não deixa de surpreender. Como o cérebro humano pode revelar-se tão precisamente adaptado a um problema para o qual ele não evoluiu? Como a arquitetura cerebral de um estranho primata bípede transformado em caçador-coletor se ajustou tão finamente, em alguns milhares de anos, às dificuldades envolvidas no reconhecimento da escrita? Para tentar ver isso mais claro, examinaremos a seguir quais regiões do cérebro são as que servem à leitura. Existem "áreas da leitura", no mesmo nível como se fala das áreas motrizes ou daquelas da linguagem? Elas são as mesmas num leitor do francês, do português e do japonês? Em resumo, pode-se falar de um mecanismo cerebral universal da leitura?

NOTAS

1 Rayner & Bertera, 1992.
2 Rayner, 1998.
3 Sere, Marendaz & Herault, 2000.
4 Morrison & Rayner, 1981; O' Regan, 1990.
5 René Descartes, *Primeira Meditação*, parágrafo 12.
6 McConkie & Rayner, 1975.
7 Rayner, Well & Pollatsek, 1980; Rayner, Inhoff, Morrison, Slowiaczek & Bertera, 1981; para uma resenha, ver Rayner, 1998.
8 Pollatsek, Bolozky, Well & Rayner, 1981.
9 Rubin & Turano, 1992.
10 Vejam-se Rayner & Pollatsek, 1989, pp. 440-449.
11 Paap, Newsome & Noel, 1984; Besner, 1989; Mayall, Humphreys & Olson, 1997; Mayall, Humphreys, Mechelli, Olson & Price, 2001.
12 McConkie & Zola, 1979; Rayner, McConkie & Zola, 1980.
13 Rastle, Davis, Marslen-Wilson & Tyler, 2000; Longtin, Segui & Hallé, 2003.
14 A decomposição em morfemas é sistemática, mesmo para palavras como "reparar", onde ela induz ao erro? Ela ocorre precocemente, ou somente depois do acesso ao léxico mental? Essas questões são ainda objeto de um vivo debate, tanto experimental quanto teórico. Vejam-se, por exemplo, Caramazza, Laudanna & Romani, 1988; Taft, 1994; Ferrand, 2001, capítulo 5.
15 Em caso de ambiguidade, utilizarei as aspas para assinalar o aspecto visual das palavras e as letras e o itálico para representar sua pronúncia. Assim, a palavra "que", se pronuncia *ke*.
16 Rey, Jacobs, Schmidt-Weigand & Ziegler,1998; Rey, Ziegler & Jacobs, 2000.
17 Prinzmetal, Treiman & Rho, 1986; ver também Prinzmetal, 1990.
18 Santo Agostinho, *Confissões*, livro VI, capítulo III (na edição portuguesa consta o trecho traduzido por L. Craveiro da Silva, S.J., Coimbra: Livraria Apostolado da Imprensa, 1952, p. 140). As citações de Santo Agostinho e de Izidoro de Sevilha são relatadas por Manguel, 1997.
19 Rubenstein, Lewis & Rubenstein, 1971; Coltheart, Davelaar, Jonasson & Besner, 1977; Seidenberg, Petersen, MacDonald & Plaut, 1996; Ferrand, 2001, capítulo 4.
20 Van Orden, Johnston & Halle, 1988; Jared & Seidenberg, 1991.
21 Citados por Gagnière, 1997, p. 989.
22 Experiências com língua inglesa: Perfetti & Bell, 1991; Lukatela, Frost & Turvey, 1998; com língua francesa: Ferrand & Graigner, 1992, 1993, 1994.
23 Poeta provençal citado por Gagnière, 1997, p. 832.

24 Shakespeare, *Peines de amour perdues*, tradução para o francês por François-Victor Hugo.
25 Shaw detestava as irregularidades da ortografia inglesa a tal ponto que legou, no testamento, uma soma considerável para a concepção de um novo alfabeto inteiramente racional, o *Shavien*. Esse chegou a ser produzido, mas era tão distante de todos os sistemas de escrita existentes que jamais foi adotado (Coulmas, 1989, p. 251).
26 Coulmas, 1989.
27 Widell & Butterworth, 1999.
28 Marshall & Newcomb, 1973; Shalice, 1988; McCarthy & Warrington, 1990; Coltheart & Coltheart, 1997.
29 Seidenberg & McClelland, 1989.
30 Seidenberg & McClelland, 1989; Graigner & Jacobs, 1996; Plaut, McClelland, Seidenberg & Patterson, 1996; Ans, Carbonnel & Valdois, 1998; Zorzi, Houghton & Butterworth, 1998; Coltheart, Rastle, Perry, Langdon & Ziegler, 2001; Harm & Seidenberg, 2004. O modelo mais recente, DRC+ (Perry, Ziegler & Zorzi, 2007) apresenta uma interessante síntese dessas diferentes proposições teóricas.
31 Selfridge, 1959.
32 Dennett, 1978.
33 McClelland; Rumelhart, 1981; Rumelhart; McClelland, 1982.
34 Weekes, 1997; Lavidor & Ellis, 2002; contudo isto não é verdadeiro a não ser que as palavras sejam familiares e apareçam em sua orientação horizontal normal no centro, ou um pouco à direita da fóvea (Lavidor, Babkoff & Faust, 2001; Lavidor & Ellis, 2002; Ellis, Young & Anderson, 1988; Ellis, 2004).
35 Reicher, 1969; Ferrand, 2001, pp. 58-63.
36 Spoehr & Smith, 1975; Rumelhart; McClelland, 1982.
37 Nós veremos, no capítulo 3, como as reflexões recentes sobre a codificação neuronal das palavras acabam refinando essa definição de vizinhança a uma letra apenas. Se as palavras escritas são codificadas mentalmente por seus pares de letras ou "bigramas", como sugerem vários autores (Grainger, van Heuven, 2003; Grainger, Whinney, 2004; Dehaene, Cohen, Sigman, Vinckier, 2005) sem dúvida seria necessário adotar como medida de vizinhança ortográfica o número ou a proporção de bigramas que partilham as palavras.
38 A literatura sobre os efeitos da vizinhança é considerável e, muitas vezes, contraditória, sem dúvida, em virtude dos efeitos opostos que pode causar, na presença de vizinhos numerosos. Para uma discussão recente, consulte-se Ferrand (2001, p. 96-115).
39 Segui & Graigner, 1990.
40 Rey et al., 1998; Rey et al., 2000; para uma resenha recente de tais efeitos de competição em níveis múltiplos no seio da cadeia da leitura, ver Graigner & Ziegler, 2007.
41 Swinney, Onifer, Prather & Hirshkowitz, 1979; Seidenberg, Tanenhaus, Leiman & Bienkowski, 1982.

2

O cérebro ao pé da letra

Quais regiões do cérebro contribuem para a leitura, e como elas são organizadas? Já em 1892, o neurologista Joseph-Jules Déjerine descobre que a lesão de uma parte das áreas visuais do hemisfério esquerdo acarreta a perda seletiva e total da capacidade de ler. Há uma quinzena de anos, a imagem cerebral confirmou o papel essencial dessa região na leitura. Presente na mesma região em todos os indivíduos e em todas as culturas, essa área responde automaticamente às palavras escritas, mesmo quando forem apresentadas muito brevemente sem que sejam conscientemente detectadas. Em menos de quinquagésimo de segundo, ela extrai a identidade de uma palavra sem se deixar perturbar pelas mudanças superficiais de forma, de tamanho ou de posição das letras. Ela transmite em seguida o resultado dessa análise visual a dois grandes conjuntos de regiões, situadas nos lobos temporais e frontais, que representam respectivamente a sonoridade e a significação das palavras.

Somos absurdamente acostumados ao milagre de alguns signos escritos capazes de conter uma imagem imortal, giros de pensamento, mundos novos com pessoas vivas que falam, choram, riem. [...] E se um dia, ao acordarmos, embora sejamos os mesmos, nos encontrarmos na impossibilidade absoluta de ler?

Vladimir Nabokov, *Feu pâl* (tradução para o francês de R. Girard e M.-E. Coindreau)

A OBSERVAÇÃO CAPITAL DE JOSEPH-JULES DÉJERINE

A história da neurologia da leitura começa numa manhã de outubro de 1887. Naquele dia, o senhor C., hábil negociante de tecidos, afas-

tado dos negócios, com uma renda confortável, homem culto e grande apreciador da música, se instala confortavelmente com um bom livro... quando se apercebe, com estupefação, de que não consegue ler uma palavra sequer! Havia já alguns dias, o senhor C. ressentia-se de algumas fraquezas, de entorpecimentos da perna e braço direitos, bem como de perturbações muito leves da fala. Esses pequenos ataques, contudo, se dissipavam rapidamente. Nessa manhã, é diferente: a leitura lhe é rigorosamente impossível. Contudo, o senhor C. se apercebe de que ainda sabe falar, distinguir claramente os objetos e as pessoas que o rodeiam, e mesmo escrever. Por que, então, não consegue mais ler sequer uma só letra?

Persuadido de que tivesse sido acometido por perturbações de visão, que cederiam com o uso de óculos apropriados, o senhor C. consulta o Dr. Landolt e, depois, no dia 15 de novembro de 1887, o célebre neurologista Joseph-Jules Déjerine, professor associado e médico do hospital de Bicêtre. Ao término de uma consulta psicológica e anatômica exemplar, esse último extraiu da observação do senhor C. as primeiras conclusões sólidas sobre as bases cerebrais da leitura[1]: "Cegueira verbal pura", tal é o nome com o qual Déjerine batizará essa perda seletiva do reconhecimento das letras e das palavras escritas, que lhe sugerirá a existência de um "centro visual das letras", especializado para a leitura.

O que estabelecem Déjerine e Lindolt? Eles demonstram de saída que o paciente não reconhecia mais nenhuma só letra, nem uma só palavra (escrita). Confrontado com um quadro com as letras,

> ele crê ter perdido a cabeça, porque se dá conta de que os signos cujos nomes lhe escapam são letras", "ele afirma vê-las perfeitamente", e "esboça com o gesto sua forma sem chegar a dizer seu nome". Se lhe pedimos para copiar sobre o papel o que vê, "ele consegue, mas não sem dificuldade, copiando as letras traço após traço, como se estivesse tratando de um desenho técnico, examinando cada ataque para se assegurar da exatidão do desenho. Malgrado todos seus esforços, ele é incapaz de nomear as letras.

Tal é, com efeito, o aspecto mais estranho dessa síndrome: o paciente não está cego senão para as letras e para as palavras (escritas). Sua acuidade visual é boa, ele reconhece facilmente os objetos, os rostos, é capaz de se orientar num ambiente novo, de apreciar um quadro:

> Se lhe mostramos objetos, ele os nomeia sem dificuldade. Ele indica por seus nomes todas as partes dos instrumentos contidos num álbum de técnica industrial. Esse exame não acusa uma só vez falha de memória; os desenhos evocam também a palavra apropriada e a ideia do uso dos objetos. [...]. Ao lhe alcançar o jornal *Le Matin*, que ele lê com frequência, o doente diz: "É o *Le Matin*, eu o reconheço por sua forma", mas ele não pode ler nenhuma das letras do título..."

Claro, o exame clínico põe em evidência alguns déficits visuais. O senhor C. não vê muito bem a parte direita do espaço. "Colocadas na metade direita dos campos visuais, os objetos ali parecem obscuros, menos nítidos do que na outra metade" (o que os neurologistas denominam uma hemianopsia direita parcial). Nessa região ele não distingue mais as cores (hemiacromatopsia): a metade direita do mundo lhe aparece em preto e branco. Mas esses déficits não são suficientes para explicar a imensa dificuldade da leitura. Consciente de suas perturbações visuais, o senhor C. orienta espontaneamente seu olhar, a fim de que as letras ou as palavras que lhe pedem para ler aterrissem um pouco à esquerda do ponto de fixação, lá onde sua visão está normal. Contudo, essa estratégia não melhora em nada sua leitura.

A melhor prova, sem dúvida, de que o senhor C. sofre de uma perturbação que concerne especificamente às letras reside no fato de que ele reconhece sempre com muita facilidade os números. Ele é sempre capaz de lê-los e mesmo de realizar cálculos complexos. Essa observação essencial sublinha que a leitura dos números não apela para as mesmas vias anatômicas que as da leitura das letras e das palavras. Sobre o plano visual, contudo, os números e as letras têm formas semelhantes e, sobretudo, totalmente arbitrárias e intercambiáveis. De fato, outras culturas escolheram utilizar a forma das letras para denotar os números – no árabe, por exemplo, as formas ٤, ٥, ٦, ٨, ٧, que se assemelham às letras do alfabeto grego, representam os números 9, 8, 7, 6, 5. A dissociação números-letras não poderia, pois, ser explicada por uma perda de acuidade visual. Nenhum par de óculos, por mais sofisticado que fosse, socorreria o senhor C. A perda seletiva da leitura é de origem cerebral. A doença que acomete o senhor C. nos obriga a postular uma especialização cortical específica à leitura das letras.

Outras observações sublinham ainda a estranheza do déficit. Déjerine insiste sobre a notável preservação das capacidades intelectuais e verbais do senhor C., que se exprime à perfeição com um vocabulário tão extenso quanto o anterior a seu acidente. Melhor, se maravilha Déjerine, a escrita permanece intacta:

> Espontaneamente, o doente escreve tão bem quanto fala. Comparando numerosos espécimes de escrita que o fiz traçar, não se nota nenhum

erro, nenhuma falta ortográfica, nenhuma transposição de letras [...]. A escrita sob ditado se executa igualmente com facilidade e fluência, mas a leitura do que o doente acaba de escrever é absolutamente impossível [...]. Ele se impacienta com esses fenômenos, escreve as letras umas após as outras, e diz: Eu sei, no entanto, escrever as letras, veja-as: por que eu não as posso ler?

Na verdade, Déjerine nota claramente uma ligeira degradação da escrita, mas essa é imputável às perturbações da visão:

Quando o interrompemos numa frase que ele escreve sob ditado, ele se atrapalha e não sabe mais onde retomar suas letras; o mesmo, se ele comete uma falta: não consegue encontrá-la. Antes, ele escrevia mais rápido e melhor, agora, os caracteres são mais espessos, traçados com certa hesitação, porque, diz ele, 'ele não tem mais o controle dos olhos'. Na verdade, longe de guiá-lo, a visão do que ele escreve parece mais perturbá-lo, se bem que ele prefira escrever com os olhos fechados.

A preservação da escrita ocorre parelha à dos gestos. Assim, o paciente consegue ainda ler se o autorizamos a ajudar-se com um gesto que esboce os contornos da letra. "É, pois, o sentido muscular que desperta o nome da letra: e a prova é que podemos fazê-lo dizer uma palavra com os olhos fechados, conduzindo sua mão no ar, para fazê-lo executar os contornos das letras". Tempos depois, outros neurologistas mostrarão que a leitura tátil está igualmente intacta: o paciente decifra melhor com os olhos fechados as letras que lhe traçamos sobre a palma da mão, do que aquelas colocadas diante dos olhos! É uma indicação preciosa do nível onde se situa o déficit: a memória motriz das formas das letras está intacta, somente o seu reconhecimento *visual* está alterado.

A ALEXIA PURA

Como podemos escrever, e mesmo dominar a ortografia das palavras mais raras, sem chegar a ler uma só letra? A doença do senhor C. parece de tal modo estranha que até poderíamos interrogar-nos sobre sua própria raridade. Não se trata de um histérico ou de um simulador? Não, responde Déjerine, porque "possuímos inúmeras belas observações clínicas de [essa] variedade de cegueira verbal". De fato, a neurologia moderna vai confirmar de modo incontestável as primeiras observações de Déjerine. Conhecem-se hoje centenas de casos de "cegueira verbal pura", hoje denominada "alexia pura", ou "alexia sem agrafia" (perturbação da leitura sem comprometimento da escrita[2]).

Por que dizemos que a alexia é pura? Pelo menos, por quatro razões, todas apontadas por Déjerine em sua memória de 1892, e todas replicadas desde então:

- a linguagem oral está intacta;
- a escrita está intacta;
- o reconhecimento visual dos objetos, dos rostos, dos desenhos, e mesmo dos números permanece vastamente preservado[3];
- o reconhecimento tátil ou gestual das letras está normal.

A alexia pura constitui assim uma entidade clínica característica, certamente pouco frequente, mas de modo notável coerente em seus traços principais, a ponto de que encontremos com facilidade hoje pacientes muito similares ao caso reportado por Déjerine. Nos detalhes, contudo, uma fonte de variabilidade separa nitidamente duas categorias de pacientes[4]. Alguns, como o senhor C., não chegam mais a ler nem as palavras nem mesmo as letras isoladas. Às vezes, eles passam mesmo por dificuldades em dizer se uma letra maiúscula e uma minúscula se correspondem. Outras vezes, contudo, conservam a faculdade de nomear a maior parte das letras[5]. Assim, eles chegam sempre a decifrar as palavras, decifrando, laboriosamente, uma por uma, cada uma de suas letras. O déficit toma, então, a forma de um extremo aumento no tempo de leitura, proporcional ao número de letras compreendidas pela palavra (Figura 2.1). Essa leitura letra a letra revela, como em negativo, o déficit de que padecem os pacientes aléxicos: contrariamente aos leitores normais, eles não conseguem mais tratar em paralelo o conjunto das letras que compõem uma palavra[6].

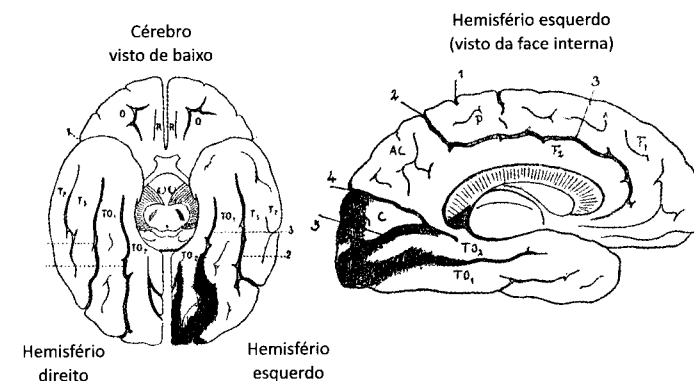
LESÕES REVELADORAS

O caso do senhor C. indica que devem existir, no cérebro, regiões especializadas em leitura, capazes de transmitir em paralelo às áreas da linguagem informações sobre a identidade visual das letras e palavras. Mas quais são as áreas concernentes? Déjerine está consciente de que só a autópsia pode dar a sua observação "o valor rigoroso de uma experiência de fisiologia". A 16 de janeiro de 1892, pouco mais de quatro anos após o acidente inicial, o senhor C. falece de um segundo infarto cere-

bral. O neurologista, que o acompanhou regularmente, comenta que "malgrado os exercícios pacientes e muitos esforços, ele jamais pôde reaprender a significação das letras e das palavras". Déjerine realiza também a autópsia, da qual ele encaminhará os resultados à Sociedade de Biologia algumas semanas mais tarde. Ela revela que o hemisfério direito está totalmente intacto, enquanto lesões antigas afetam a parte posterior do hemisfério esquerdo. Elas ocupam "o lobo occipital e mais particularmente as circunvoluções da ponta occipital, da base do *cuneus*, bem como as do lóbulo lingual e do lóbulo fusiforme[7]". O desenho original à mão do lóbulo fusiforme está reproduzido na Figura 2.1. Ali se vê bem o contorno das grandes "placas amarelas atrofiadas", cicatrizes tardias do acidente vascular que, quatro anos antes, tornaram o senhor C. incapaz de ler a menor palavra.

Como a lesão das regiões visuais afeta seletivamente a leitura? Para interpretar sua observação anatômica, Déjerine faz apelo à noção de desconexão. Com efeito, a lesão do senhor C. afeta em parte o que os neurologistas chamam de substância branca, isto é, os vastos feixes de conexões nervosas que religam as regiões corticais distantes. Além disto, ela concerne ao polo occipital, sede do tratamento visual. Enfim, ela afeta, de um lado, o córtex visual esquerdo e, de outro, as conexões que fazem entrar no hemisfério esquerdo as informações visuais provenientes das regiões visuais direitas (corpo caloso).

Déjerine supõe, pois, que a lesão afeta a transmissão das informações visuais que se dirigem a uma região que ele denomina "centro visual das letras", e que ele localiza, sobre a base de outras observações, no giro (ou circunvolução) angular, também chamado de dobra curva, uma prega do córtex cerebral na base da região parietal esquerda. Segundo Déjerine, esse centro visual das letras, propriamente, está intacto – o que explicaria que o paciente ainda saiba escrever, ortografar ou reconhecer a forma das letras através do gesto. Contudo, privado das entradas visuais provenientes dos dois hemisférios, essa região está literalmente desconectada: ela não recebe mais as informações necessárias à leitura e se encontra, pois, incapaz de aplicar os conhecimentos sobre as letras aos estímulos visuais. Assim, o paciente não está cego: ele ainda vê as formas das letras e sabe tratá-las como quaisquer objetos visuais; mas ele não pode *reconhecê-las* como letras ou palavras ("cegueira verbal").

Joseph-Jules Déjerine, 1892

Laurent Cohen e colaboradores, 2003

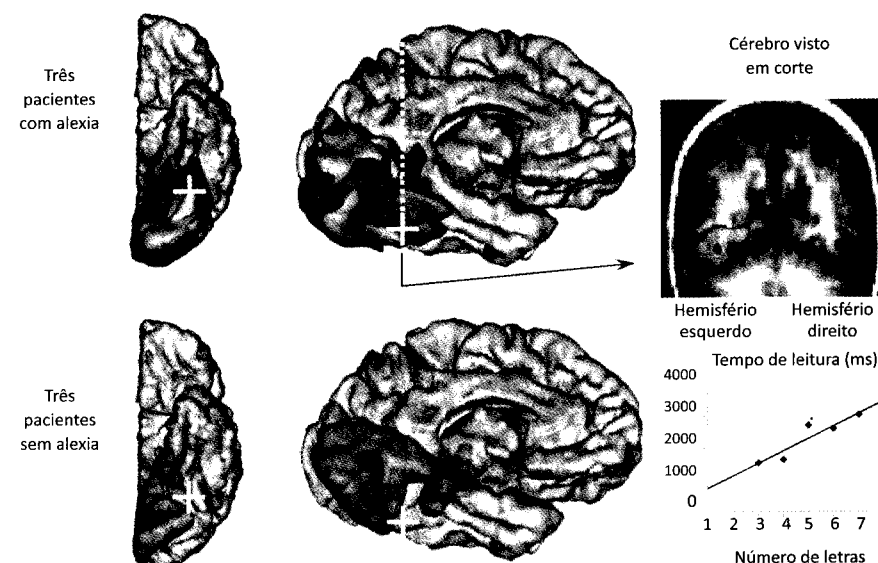



Figura 2.1 Depois de um acidente vascular cerebral, não é raro que um paciente perca a capacidade de ler e se torne, pois, *aléxico*. A autópsia do primeiro paciente aléxico, descrito por Déjerine em 1892 (ao alto), mostra lesões similares às dos pacientes contemporâneos, visualizados em imagem por ressonância magnética (abaixo, a partir de Cohen et al., 2003). Nos dois casos, é a parte posterior do hemisfério esquerdo que está lesada. A intersecção das lesões e sua confrontação com as de outros pacientes que não sofrem de alexia permitem isolar um lugar preciso, a região occípito-temporal ventral (cruz branca), cuja lesão afeta sistematicamente a leitura. Os pacientes aléxicos chegam às vezes a decifrar as palavras letra a letra, mas seu tempo de leitura, contrariamente ao de um leitor normal, cresce com o número de letras – eles perderam o reconhecimento rápido e paralelo das palavras.

A ANÁLISE MODERNA DAS LESÕES

Mais de cem anos depois, o neurologista Laurent Cohen e eu próprio[8], como outros pesquisadores[9], retomamos os passos de Déjerine. Pudemos contar com instrumentos de observação novos: graças à imagem por ressonância magnética, foi-nos especialmente possível libertar dos limites da autópsia para observar *in vivo* as lesões. É assim que observamos muitos casos de alexia pura. Praticamente todos aqueles pacientes tinham lesões no mesmo setor que o senhor C.: a região occípito-temporal esquerda. Essas lesões são frequentemente observadas após um infarto da artéria cerebral posterior esquerda que irriga essa região. A título de exemplo, a Figura 2.1 mostra lesões observadas em três desses pacientes: todas afetam a parte posterior e inferior do hemisfério esquerdo.

Atualmente, a IRM permite ir mais longe do que poderia Déjerine. Torna-se fácil digitalizar as lesões e superpô-las num espaço anatômico standard que compensa, em parte, as variações individuais de tamanho e forma do cérebro. Assim, é possível responder a uma questão que Déjerine não podia abordar senão através de um trabalho indireto de recorte: podem-se separar, entre as regiões atingidas, aquelas cuja lesão é diretamente responsável pela alexia, e aquelas que são responsáveis por outras perturbações tais como a perda da visão das cores? Esse trabalho recém começa, mas sua lógica é simples: basta examinar um grande número de pacientes e notar em que medida a lesão de tal ou qual região é sistematicamente associada a uma alexia. Examinando a intersecção das lesões de numerosos pacientes, podemos nos libertar da variabilidade aleatória dos acidentes vasculares e isolar o ou os territórios corticais associados de modo sistemático às perturbações da leitura. Eliminando-se dessa imagem da intersecção os setores lesados entre os pacientes que não sofrem de alexia, chega-se enfim a isolar as regiões necessárias e suficientes à leitura.

Tal análise, esboçada na Figura 2.1, sugere que as regiões mais posteriores do hemisfério esquerdo não jogam um papel específico na leitura. Sabe-se hoje que essas regiões occipitais são implicadas na análise precoce dos sinais visuais, análise que não é específica à leitura, mas contribuem para o reconhecimento da forma e da cor de todos os objetos. Uma lesão nessas regiões não envolve, pois, senão perturbações visuais não específicas. Esses pacientes têm um campo visual amputado e não veem bem à direita do ponto onde se fixa seu olhar. Eles frequentemente têm dificuldades para ver a parte direita das palavras e para programar os movimentos dos olhos em direção à direita. Embora essas perturbações induzam a uma diminuição em particular da leitura de frases, elas devem ser distinguidas cautelosamente da alexia pura propriamente dita[10].

Em contrapartida, um pouco mais à frente, sobre a face ventral do hemisfério esquerdo se encontra uma pequena região que é quase sempre atingida nos pacientes aléxicos, lesão essa que envolve, quase sempre, uma alexia pura. É a região occípito-temporal esquerda – retenham bem este termo, porque ele voltará frequentemente, e não hesitem em recorrer ao diagrama anatômico da Figura 2.2 para bem compreender o seu lugar no circuito da leitura. É lá, com efeito, que se situa a região chave para a análise visual das palavras. Conforme veremos, um vasto conjunto de dados sugere que essa região joga um papel preponderante na análise da forma das letras, seu reconhecimento e sua reunião em palavras. É a razão pela qual Laurent Cohen e eu propusemos chamá-la de *região da forma visual das palavras*[11].

A interpretação de Déjerine deve, pois, ser corrigida. Pensamos hoje que não é o giro angular que permite o reconhecimento visual das letras, mas uma região distinta dela, situada sobre a face ventral do cérebro (ver o esquema da Figura 2.2). O erro de Déjerine vem do fato de que, no senhor C., essa região não está diretamente lesionada (isso se vê claramente na Figura 2.2). Sem dúvida, ela estava somente desconectada, exatamente como supunha o grande neurologista. Esse se enganou simplesmente sobre a localização da região desconectada, que pertence ao sistema visual ventral e não à região mais dorsal do giro angular.

Sabemos agora que há pelo menos três formas pelas quais as lesões podem impedir o funcionamento da região da forma visual das palavras[12]. A situação mais simples é evidentemente quando a lesão a destrói diretamente. Contudo, pode igualmente ocorrer que, em acréscimo, ela seja desconectada, quer dizer, desligada das entradas visuais, como aconteceu com o senhor C.; ou então, que ela seja desconectada em curso e, assim, impedida de transmitir o resultado de seus cálculos para outras regiões cerebrais. Em todos os casos, o resultado é o mesmo: uma severa incapacidade para reconhecer as palavras escritas. Veremos mais adiante que existem igualmente casos de desconexão parcial, quando essa região não recebe senão uma parte das informações visuais. Pode acontecer, por exemplo, que ela não receba senão as entradas visuais do hemisfério esquerdo. Chega-se então a fenômenos ainda mais paradoxais: um paciente que não sabe ler senão as palavras apresentadas do lado esquerdo!

O antigo modelo neurológico da leitura
(a partir de Déjerine, 1882 (Geschwind, 1965)

Uma visão moderna das redes corticais da leitura

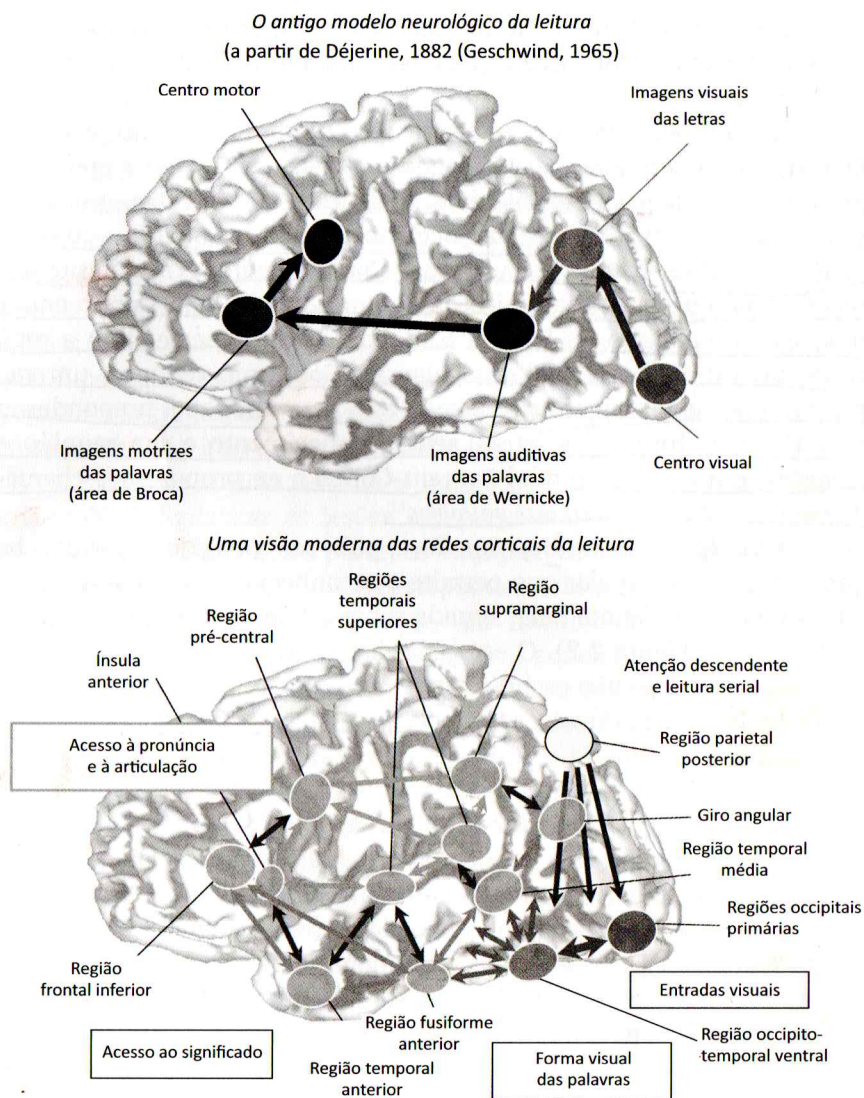



Figura 2.2 O modelo neurológico clássico da leitura (ao alto) é hoje substituído por um esquema paralelo e repleto (abaixo). A região occípito-temporal esquerda reconhece a forma visual das palavras. Ela distribui as informações visuais a numerosas regiões, distribuídas por todo o hemisfério esquerdo, que estão implicadas em graus diversos na representação do significado, da sonoridade e da articulação das palavras. As regiões como as occipitais primárias não são específicas da leitura: elas intervêm como primeiro passo no tratamento do sinal luminoso. Aprender a ler consiste, pois, em por em conexão as áreas visuais com as áreas da linguagem oral. Todas as interconexões entre as regiões, que são bidirecionais, não são ainda conhecidas em detalhe. A conectividade cerebral real é provavelmente bem mais abundante ainda do que sugere o esquema acima.

Existe outro ponto, mais fundamental, sobre o qual Déjerine se equivocou: é a arquitetura geral das redes cerebrais da leitura. Déjerine, incluindo na sequência outros especialistas, como o grande neurologista americano Norman Geschwind[13], concebia um circuito linear e, sobretudo, muito simples. As imagens visuais eram enviadas ao giro angular, onde entravam em contato com o repertório das imagens visuais das palavras. A atividade se propagava em seguida à região de Wernicke, sede das imagens auditivas das palavras, depois à região de Broca, sede de suas formas articulatórias, e, enfim, ao córtex motor que se encarregaria do controle dos músculos. Sumariando, algumas etapas sucessivas seriam suficientes para passar da visão à audição, à articulação e à pronúncia. Por trás desta visão estritamente serial da leitura se adivinha a influência das analogias mecanicistas em voga no século XIX. O funcionamento da mecânica cerebral era, então, comparado à propagação da eletricidade ou à repartição da pressão numa máquina a vapor. Recuando-se mais longe ainda, há como que uma filiação entre os primeiros esquemas dos neuropsicólogos e os diagramas hidráulicos seguintes pelos quais René Descartes explicava nossos reflexos pela circulação dos "espíritos animais" como um sistema de pipas de máquinas a vapor no corpo. O modelo do arco reflexo permanecia como a visão dominante.

Não se poderia, pois, condenar Déjerine por não ter-se antecipado a um século de psicologia e de neurociências. Uma visão mais complexa, abundante e paralela veio substituir o modelo serial dos neurologistas. Sabemos hoje, por termos tentado programá-lo nos computadores, até que ponto o reconhecimento das formas visuais é um problema difícil, que não se poderia resumir à simples excitação de algumas "imagens" no cérebro. Conforme verificamos no primeiro capítulo, toda uma série de operações complexas é necessária a fim de se chegar a um reconhecimento invariante dos caracteres escritos.

Mesmo essa não é senão uma primeira etapa da leitura. A partir da representação visual da cadeia de letras, múltiplas informações devem ainda ser encontradas: radicais das palavras, seus significados, sua sonoridade, a forma de articulá-los... Cada uma dessas operações faz apelo a uma ou várias áreas corticais distintas. Além disso, as conexões corticais não se estabelecem sob a forma de cadeias lineares: cada região contata várias outras em paralelo. Todas as conexões são, além disso, recíprocas: cada vez que uma região A contata uma região B, a região B projeta igualmente um retorno em direção à região A.

Fundamentado nesses princípios, tentei esboçar, na base da Figura 2.2, o que poderia ser uma visão moderna da leitura no cérebro. Todas as regiões que aparecem naquele diagrama contribuem de modo indiscutível para a leitura das palavras. Contudo, trata-se de um esquema que deve ser considerado como provisório. Paradoxalmente, ele ainda é, sem dúvida, muito simples, porque ainda falta convocar numerosas regiões e conexões. A diferença mais evidente entre essa visão moderna e o diagrama de Déjerine é o abandono de uma visão serial de ativação cerebral, em proveito de um esquema divergente, no qual regiões muito numerosas do cérebro possam ser ativadas em paralelo.

O leitor deverá ter compreendido que, desde Déjerine, perdemos muitas de nossas certezas. É bem difícil, hoje, atribuir uma função bem precisa a cada uma das regiões de nosso diagrama, como fazia Déjerine, já que ele etiquetava o córtex em imagens visuais, auditivas e motrizes. É verdade que temos uma visão mais refinada da forma como o cérebro funciona. Mas, paradoxalmente, essa nova visão complica enormemente a tarefa do neuropsicólogo que se pergunta: ainda é possível chegar-se a uma compreensão intuitiva de circuitos tão complexos?

O cérebro do cientista chegará a compreender o cérebro do leitor? Se a questão permanece em suspenso, nos fizemos, contudo, importantes progressos na compreensão de algumas regiões cerebrais e, notadamente, na da forma visual das palavras. No diagrama moderno da leitura, essa região ocupa um lugar estratégico: ela joga o papel de ponto de estrangulamento, por onde transitam todas as informações visuais antes de serem distribuídas às inúmeras regiões do hemisfério esquerdo. Essa posição particular explica que sua lesão ou desconexão possa ter efeitos tão dramáticos quanto os observados no senhor C.: a perda total do tratamento das palavras escritas, como se elas fossem manchas de tinta sem significação. Mas como essa região analisa as palavras escritas?

LER NO CÉREBRO

Há aproximadamente vinte anos, os técnicos da imagem cerebral funcional revolucionaram o estudo do cérebro humano, permitindo, literalmente, a "leitura do cérebro". Podemos observar não somente os processos da leitura nos enfermos, mas igualmente nos leitores sadios. A imensa vantagem que oferecem esses métodos reside em sua capacidade de visualizar diretamente a atividade do cérebro numa pessoa voluntária, no próprio momento em que ela efetua uma operação mental tal como a leitura de uma palavra. Quem sabe, com efeito, como o cérebro se modifica após uma lesão cerebral? Uma lesão pode ter efeitos a distância, com a desconexão de outras regiões, privando-as, assim de uma via de entrada. Não é raro, igualmente, que, nas semanas seguintes à lesão, o cérebro doente se reorganize e reaprenda a função perdida, apelando para circuitos diferentes daqueles do cérebro são. Enfim, as lesões cerebrais ocorrem ao azar: seu tamanho é, com frequência, importante e sua posição enviesada pela distribuição das artérias, de sorte que é bem difícil tirar conclusões finas sobre a anatomia cerebral funcional. Se não dispusermos de meios de visualizar um cérebro normal, nossa tarefa será comparável à de um relojoeiro que, para aprender seu ofício, não dispusesse senão de velhos despertadores quebrados pela metade.

A imagem cerebral repousa sobre um princípio muito simples e já antecipado por Lavoisier: como não importa qual órgão, o cérebro consome mais energia quando está trabalhando do que em repouso. Em sua *Premier Mémoire sur la respiration des animaux* (1789), Lavoisier, depois de ter discutido sobre a quantidade de ar que consumiria uma pessoa que erguesse um peso a uma certa altura, concebe a medida do metabolismo cerebral:

> Este gênero de observação conduz-nos a comparar o emprego de forças entre as quais pareceria não haver nenhuma relação. Pode-se conhecer, por exemplo, os esforços de um homem que faz um discurso pelo peso dos respectivos livros e de um músico que toca um instrumento. Poder-se-ia, mesmo, avaliar o que existe de mecânico no trabalho de um filósofo que pensa, do homem de letras que escreve, do músico que compõe. Esses efeitos, considerados como puramente morais, têm alguma coisa de físico e de material que permite, sob essa relação, compará-los com aqueles que faz o homem que trabalha.

Resta mensurar esses esforços mentais, não somente em sua globalidade, mas em cada ponto do córtex. Em 1988 apareceu um artigo que inaugurou, de modo espetacular, a era da imagem cerebral funcional[14]. Steve Petersen e seus colegas estabelecem um marco, ao revelar, pela primeira vez, a organização funcional das áreas cerebrais da linguagem, com a ajuda de um novo método: a tomografia por emissão de pósitrons.

De que se trata? O método se apóia na física nuclear. Trata-se de injetar em sujeitos voluntários uma dose fraca de água radioativa, cujo átomo de oxigênio foi substituído pelo do oxigênio 15. Pelo viés da cir-

culação sanguínea, essa água marcada se espalha rapidamente por todo o corpo. Contudo, a radioatividade se acumula mais rapidamente nas regiões onde a vazão sanguínea é mais elevada. No cérebro estão, precisamente, as regiões onde a atividade neuronal é a mais intensa. A imagem da distribuição da radioatividade, portanto, reflete diretamente a localização das redes cerebrais ativadas.

Mas como detectá-la sem abrir a caixa craniana? O oxigênio 15 foi selecionado porque ele emite um pósitron, a antipartícula do elétron, que se desintegra rapidamente, emitindo dois fótons de alta energia. Coroas de detectores dispostas ao redor da cabeça contabilizam essas desintegrações. Elas permitem, pelo viés de um possante algoritmo, deduzir a distribuição da radioatividade no espaço. Chega-se, pois, a uma via tridimensional, camada por camada, das regiões ativadas do cérebro – de onde o termo "tomografia", raízes gregas que significam "desenho em camadas".

Inovação essencial, Petersen e seus colaboradores propuseram a seus voluntários uma hierarquia de tarefas de complexidade crescente. De início, obtiveram medidas do estado de repouso, quando a pessoa não pensa em nada preciso e não recebe nenhuma estimulação especial. Depois, eles efetuaram outras mensurações da atividade cerebral no curso da apresentação passiva de palavras, ora escritas, ora faladas; depois, quando a pessoa repete essas palavras em voz alta e, enfim, quando gera uma associação verbal, inventando um uso plausível para cada palavra (por exemplo, "comer", se o estímulo for "doce"). Comparando as condições duas a duas, os autores estimaram poder isolar as regiões implicadas sucessivamente no reconhecimento das palavras (escritas ou faladas), na articulação e na manipulação interna do significado das palavras.

As imagens obtidas dessa experiência percorreram os periódicos do mundo inteiro, e pertencem agora à história da ciência. Descobriu-se a primeira decomposição das redes cerebrais da linguagem (Figura 2.3). Sem dúvida, sabemos agora que essa imagem é muito simples. Um pouco como no modelo de Déjerine, faltam-lhe numerosas regiões essenciais e os rótulos que ali figuram demandam refinamento. No entanto, os resultados essenciais foram em seguida replicados. Logicamente, a visão de uma palavra escrita ativa as regiões occipitais bilaterais, que são associadas às etapas precoces da visão. Mais importante, a leitura ativa igualmente uma região ventral do hemisfério esquerdo situada na fronteira entre os lobos occipital e temporal, muito perto do lugar onde Déjerine havia localizado a região do senhor C. Sabemos agora que se trata da área da forma visual das palavras.

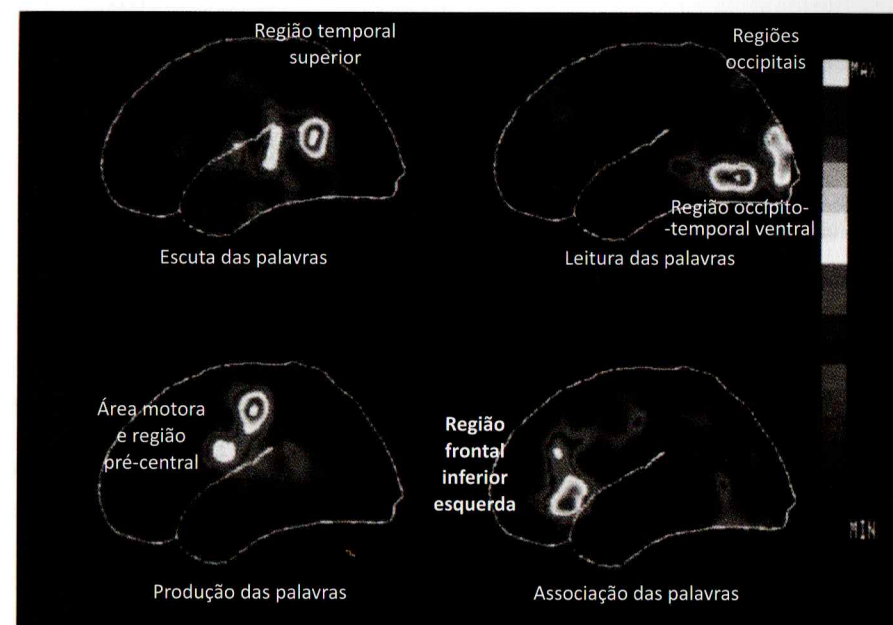



Figura 2.3 Uma imagem histórica: as áreas cerebrais da linguagem postas em evidência pela primeira vez em 1988, pela câmara de **pósitrons** (conforme Petersen et al., 1989). Pela relação com a fixação de um ponto, a leitura silenciosa (ao alto, à direita) ativa os processos de reconhecimento visual das palavras situadas na parte posterior do hemisfério esquerdo, particularmente as regiões occipitais e a região occípito-temporal ventral. A informação é em seguida transmitida, conforme a tarefa, às regiões implicadas na representação do som (ao alto, à esquerda), da articulação (embaixo, à esquerda) ou do significado (embaixo, à direita).

Quais são os outros códigos das palavras? A audição de uma palavra falada ativa regiões bem distintas: as áreas temporais superiores, sede das regiões auditivas primárias e o córtex temporal médio esquerdo, implicado na análise da fala. A produção da linguagem, quanto a ela, apela para a região pré-central esquerda, próxima da área de Brocca, bem como para os córtex motores direito e esquerdo. Enfim, as associações semânticas ativam poderosamente o córtex pré-frontal inferior esquerdo.

De todas as regiões, uma só parece jogar um papel central e específico na leitura: a região occípito-temporal esquerda, a mesma que a análise das lesões identifica como a sede da alexia pura. Com efeito, Petersen e seus colegas notam que essa região é a única a ser ativada unicamente para a leitura das palavras escritas e não para as palavras faladas, sem, contudo, pertencer às regiões visuais de baixo nível que se ativam a vista de estímulos simples, como o tabuleiro de xadrez. Ela se si-

tua, pois, no cruzamento entre a análise visual e o resto do sistema linguístico. Porta de entrada em direção às áreas da linguagem, essa pequena região visual do hemisfério esquerdo analisa as imagens e sinaliza: sim, são realmente letras, trata-se (por exemplo) de um C, de um O e de um R – informação crucial que outras regiões do cérebro se encarregarão de decodificar em imagens acústicas e em significado.

TODOS NÓS LEMOS COM O MESMO CIRCUITO CEREBRAL

A importância da região occípito-temporal esquerda na leitura está confirmada por um segundo método de imagem, que hoje suplantou a tomografia por emissão de pósitrons: a imagem funcional por ressonância magnética ou *IRM funcional*. Essa técnica apresenta o duplo interesse de não se utilizar senão de máquinas presentes em todos os hospitais e de não necessitar a injeção de produtos radioativos.

Na IRM funcional, é o próprio sangue, presente em todos os tecidos, que serve de produto para contraste. O método toma partido das propriedades magnéticas da hemoglobina do sangue, que variam espontaneamente em função da presença de oxigênio. *Grosso modo*, uma molécula de hemoglobina que não está oxigenada se comporta como um pequeno amante: ela perturba o campo magnético e atenua, portanto, o sinal de ressonância magnética. Ao contrário, quando uma molécula de oxigênio se fixa na hemoglobina, essa se torna transparente para o campo magnético. O sinal de ressonância magnética não é mais perturbado, e aumenta de modo mensurável. Ora, as regiões cerebrais onde a atividade neuronal é intensa recebem, nos segundos que a seguem, um afluxo de sangue oxigenado. É assim que se pode medir, com um pequeno atraso, como a atividade cerebral evolui no decorrer do tempo em cada ponto do cérebro. Conforme a metáfora que agrada a meu colega Denis Le Bihan, especialista em IRM, é um pouco como se tentássemos adivinhar a posição das flores, num jardim, examinando quais canteiros o jardineiro irriga... É um método indireto, mas que funciona notavelmente bem.

A principal vantagem do IRM é a de fornecer uma série de medidas da atividade cerebral com uma grande rapidez. No curso de um só exame, podem-se facilmente obter algumas centenas de imagens do cérebro inteiro, numa escala de alguns milímetros, na razão de um a cada dois ou três segundos (contra uma imagem a cada 10 ou 15 minutos para a câmera de pósitrons).

Como trunfo suplementar, as medidas da IRM funcional são muito sensíveis. É suficiente apresentar algumas palavras escritas, escondidas no meio de uma série de formas geométricas, para ver iluminar-se transitoriamente a região occípito-temporal esquerda, sede da forma visual das palavras. Assim, não é mais necessário estabelecer médias a partir de longos períodos e a partir de muitas pessoas. A IRM permite demonstrar em alguns minutos, em não importa qual voluntário que saiba ler, a presença de uma intensa atividade evocada pelas palavras escritas na região occípito-temporal esquerda.

Graças à IRM, podemos, enfim, responder a uma questão crucial: qual é a variabilidade de uma pessoa para outra na rede cerebral da leitura? A resposta é surpreendente: sem exceção, todas as pessoas que estudamos mostram uma ativação na mesma região no decorrer da leitura. Entenda-se bem, a posição precisa varia um pouco, provavelmente por causa das dobras dos sulcos do córtex cerebral, cuja organização varia de pessoa a pessoa – um pouco como uma folha de papel que amarrotemos que, a cada vez, assume rugas diferentes. Contudo, a despeito dessas mudanças superficiais da anatomia cerebral, todos nós possuímos uma região da forma visual das palavras, e ela se encontra sempre no mesmo lugar: sobre o flanco do sulco occípito-temporal, um cruzamento do córtex cerebral que limita a região fusiforme do hemisfério esquerdo (Figura 2.4)[15].

Um sistema de coordenadas rudimentar permite repetir as ativações no espaço do cérebro conforme três eixos de coordenadas estandardizadas. Nesse sistema, inventado pelo neuro-cirurgião francês Jean Talairach, as coordenadas da região que nos interessa são reproduzíveis ao redor aproximadamente de 5 milímetros, de um indivíduo a outro, mas também de um laboratório a outro[16].

Isso permanece verdadeiro, como veremos em instantes, entre os leitores de escritas diferentes da nossa, tais como o chinês ou japonês[17]. Notamos, igualmente, que a direção da escrita não joga nenhum papel nessa lateralidade à esquerda: entre os leitores do hebraico, que se lê da direita para a esquerda, a posição dessa região é exatamente a mesma, sempre próxima do sulco occípito-temporal esquerdo[18]. Em outros termos, nós todos lemos com o mesmo circuito cerebral.

A espantosa reprodutibilidade dessa região cerebral complica de novo o paradoxo da leitura. Eis aí uma atividade cultural, inventada em todos seus componentes há menos de cinco mil anos, cujas formas de superfície variam imensamente de um país a outro. Cada um de nós domina mais ou menos bem a leitura, e a aprendeu, possivelmente, por meios diferentes. Alguns recitaram o bê-a-bá, outros traçaram as letras com o dedo, conforme

o método Montessori, outros ainda sofreram os terrores do método global. Como pode acontecer que cada um de nós, sem exceção, utilize a mesma região cerebral para reconhecer as palavras escritas?

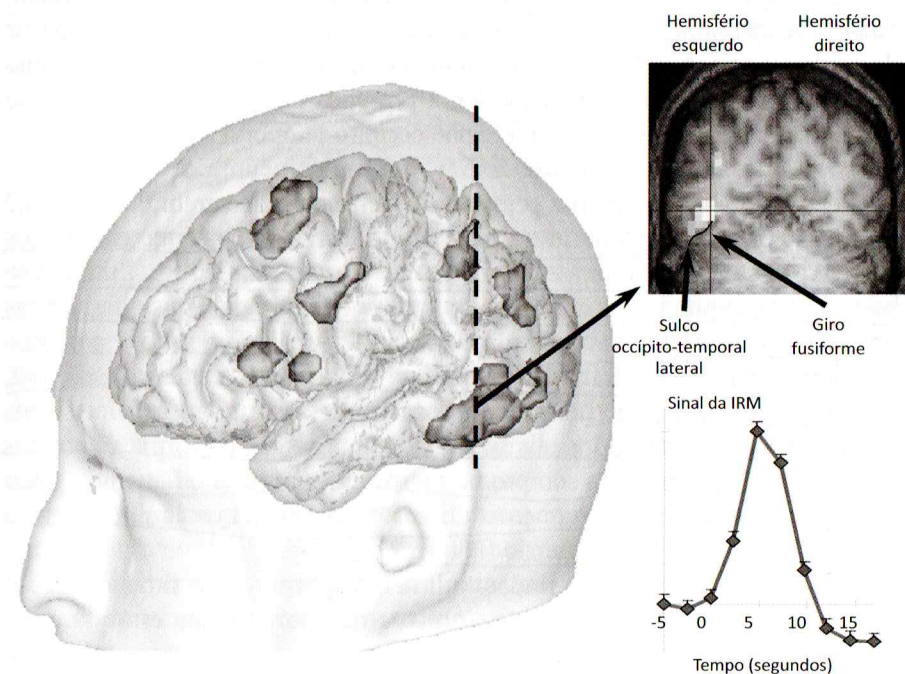



Figura 2.4 A IRM funcional permite localizar, em alguns minutos, as regiões ativadas durante a leitura. Os participantes leem mentalmente as palavras apresentadas num ritmo aleatório. Depois de cada palavra, as regiões ativadas veem seu sinal da IRM aumentar e atingir um pico em torno de cinco segundos mais tarde. Na rede ativada, a região da forma visual das palavras aparece sistematicamente nos bordos do sulco occípito-temporal lateral esquerdo, sobre o bordo do giro fusiforme.

UMA REGIÃO CEREBRAL PARA AS PALAVRAS ESCRITAS?

O mistério ainda se avoluma quando se observa que as propriedades funcionais dessa região são de modo igual, fortemente, reprodutíveis de um indivíduo a outro. Cada uma das sete pessoas escaneadas na Figura 2.5 apresenta uma ativação seletiva para as palavras escritas, sem nenhum traço de ativação quando escutam as mesmas palavras[19]. É um fenômeno extremamente estável, que já haviam reportado Petersen e seus colegas em 1988: em geral, a escuta da linguagem falada não ativa essa região, que é estritamente dedicada à análise visual das palavras.

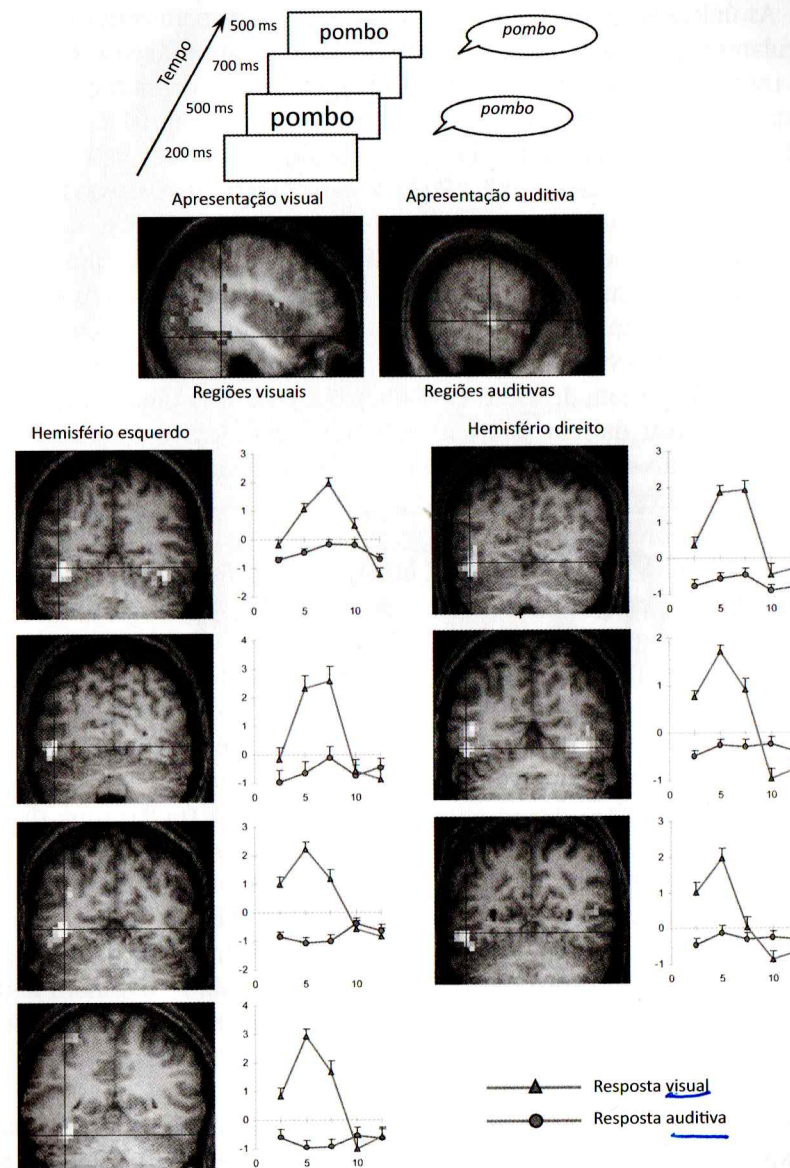



Figura 2.5 A ativação da região occípito-temporal esquerda se observa facilmente, seja qual for a pessoa que tenha aprendido a ler. Nessa experiência, se apresentam aos participantes duas palavras escritas ou faladas. Eles deverão julgar se essas palavras são idênticas ou diferentes. Em sete pessoas diferentes, as palavras escritas ativam a região occípito-temporal esquerda numa posição espantosamente reprodutível a despeito da variabilidade dos sulcos do córtex. As palavras faladas, porém, não ativam essa região (cf. Dehaene et al., 2002).

As únicas exceções conhecidas até agora concernem condições muito particulares nas quais se incita o voluntário a imaginar a maneira como se escreve uma palavra ou um som. Assim, ativações fracas dessa região são observadas quando se pede a uma pessoa para detectar se uma palavra contém uma letra "descendente", tal como um p, q ou j, cujas hastes descem abaixo da linha imaginária da escrita[20]. Pode-se igualmente ativá-la, pedindo aos japoneses para imaginarem que eles escrevem uma palavra em notação kanji – o que necessita que eles visualizem o traçado complexo dos caracteres no espaço[21]. Enfim, é suficiente pedir a voluntários efetuarem diferenças finas entre dois enunciados, por exemplo, "depo" e "tepo", para ver essa região se iluminar, como se o suporte das letras facilitasse a diferenciação dos sons[22].

O ponto comum de todas essa situações pode ser solicitar as imagens das letras a partir da fala. Uma ativação retrógrada percorreria as vias da leitura no sentido inverso do curso normal da informação. Exceto essas condições particulares, a região occípito-temporal ventral não é ativada senão quando se lhe apresentam palavras escritas e nunca palavras orais.

Essa região interessa, pois, à análise visual das palavras. Contudo, uma questão se coloca: trata-se de uma região de qualquer modo capaz de tratar de qualquer objeto visual? Ou ela é especializada somente para a leitura? Aí, também, a resposta é surpreendente: uma parte dessa região responde de preferência às palavras, mais do que a numerosos outros estímulos visuais; e, de novo, essa preferência é universal e apresenta entre todos os indivíduos o mesmo local no cérebro.

Tudo se passa como se existisse no seio dessa região uma divisão de trabalho. O reconhecimento das casas e das paisagens ativa as regiões ventrais mais próximas da linha mediana que separa os dois hemisférios. Ao nos afastarmos em direção ao flanco dos hemisférios, encontramos em seguida uma região que responde particularmente à visão dos rostos. Mais longe, chega-se ao sulco occípito-temporal onde se aninham alguns setores particularmente sensíveis à visão das palavras. Enfim, nos bordos do cérebro, todo um lado do córtex temporal inferior responde de preferência a objetos ou instrumentos (Figura 2.6)[23].

A neuroaudióloga Aina Puce investigou a sensibilidade e a resolução espacial da IRM funcional a fim de explorar essa organização funcional entre numerosos indivíduos. Ela lhes apresentava pequenas séries de imagens compostas seja por rostos desconhecidos, seja por sequências de letras sem significação tais como XGFST, que eles deveriam observar atentamente. Em todas as pessoas examinadas, duas pequenas regiões especializadas ocupavam posições vizinhas e sistematicamente reprodu-

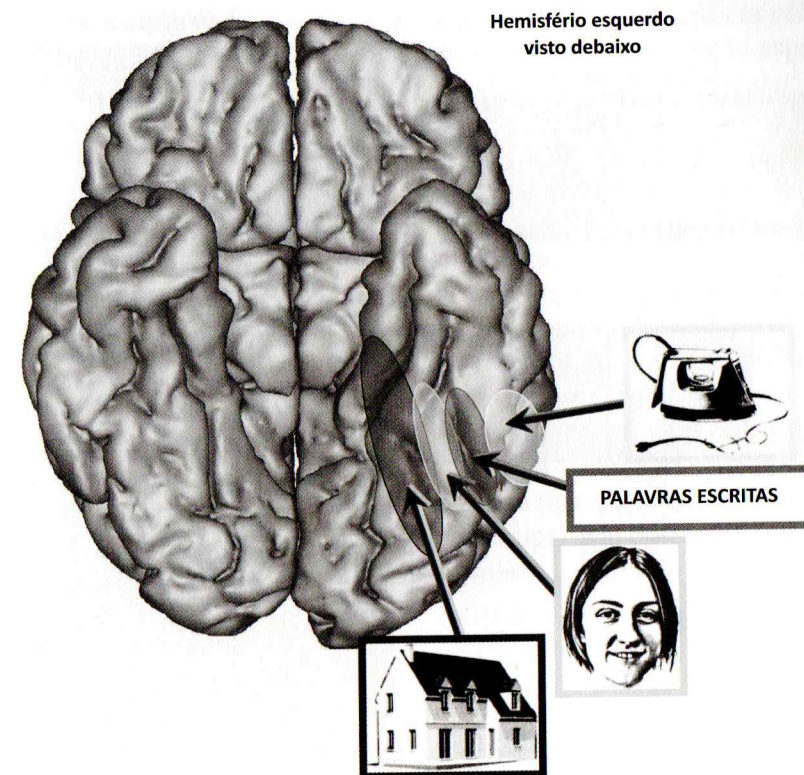



Figura 2.6 Um mosaico de detectores visuais especializados ocupa a região visual ventral. Cada setor do córtex responde preferencialmente a uma categoria de objetos. A ordenação dessa respostas, desde as casas até os rostos, às palavras e aos objetos, é a mesma entre todas as pessoas. Assim, a leitura ativa uma área occípito-temporal reproduzível, sempre situada entre as respostas aos rostos e as respostas aos objetos (cf. ISHAI et al., 2000 e PUCE et al.,1996).

zíveis: os rostos ativavam a superfície inferior do córtex enquanto as palavras ativavam uma região mais lateral no sulco cortical imediatamente vizinho (Figura 2.7)[24].

Seria necessário, contudo, não caricaturar essa especialização do córtex. Na escala em que a estudamos, trata-se mais de uma preferência local para certos objetos visuais. Como demonstraram Jim Haxby e seus colaboradores do *National Institute of Health*, a organização do córtex visual não se reduz a um simples recorte em vastas zonas de seletividade absoluta, com fronteiras nitidamente traçadas. Na realidade, as diferentes categorias visuais se recobrem no seio de nosso cérebro e evocam flutuações contínuas de atividade do córtex visual[25].

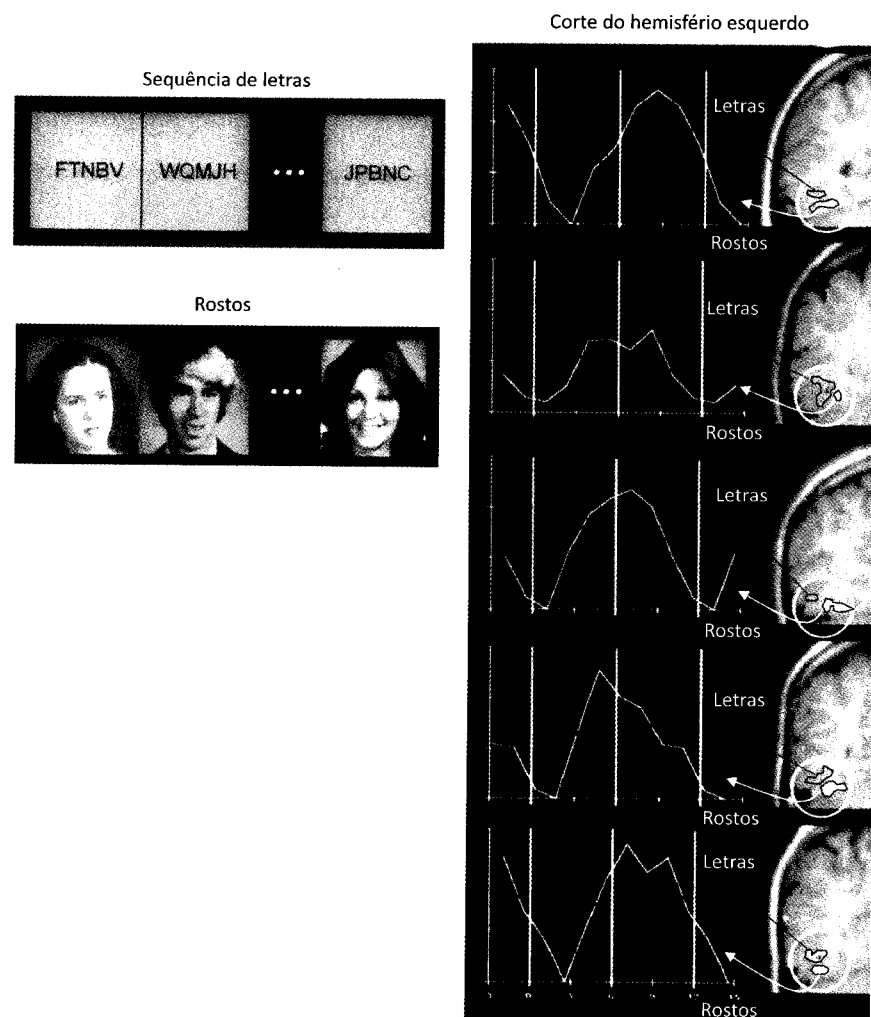
Sequência de letras

Rostos

Figura 2.7 A imagem cerebral põe em evidência uma seletividade muito fina do córtex temporal ventral para os rostos e os caracteres escritos. A apresentação visual, em alternância, de rostos e de cadeias de letras ativa territórios distintos da região visual ventral esquerda. Esses territórios apresentam uma distribuição similar em cinco pessoas diferentes – as letras estão sempre à esquerda dos rostos (cf. Puce et al., 1996).

Assim, no seio das regiões que respondem preponderantemente às palavras, mesmo as outras categorias de objetos (rostos, casas, instrumentos, animais, etc.) induzem ativações substanciais. Não esqueçamos, pois, que cada um dos cubos elementares do córtex que chegamos a visualizar com a IRM ocupa de 2 a 3 mm de lado e compreende cerca de um milhão de neurônios. Não é, pois, surpreendente que todas as células não tenham a mesma preferência. Se aumentarmos a resolução espacial até a escala do milímetro cúbico, a seletividade se torna espetacular: certos setores do córtex não respondem mais senão a uma só categoria de objetos, os rostos, por exemplo[26]. Se aí introduzirmos um eletrodo (num animal, é claro), a imensa maioria dos neurônios que ali encontrarmos prefere nitidamente os rostos comparados a qualquer outro estímulo[27].

A imagem que emerge desses estudos do córtex visual ventral é a de um mosaico de neurônios individualmente muito seletivos, embora se entremeiem para formar zonas com preferência parcial. Certas regiões preferem as letras, outras os números, os rostos, os objetos... Talvez não devêssemos falar da região cortical dos rostos ou das palavras, mas somente do pico de resposta às palavras e aos rostos. Cada pico ocupa uma posição reproduzível, mas sob sua sombra surgem outros cumes menos proeminentes, mas também importantes para a leitura. Cada categoria de objetos desenha assim sobre a superfície do córtex temporal uma paisagem complexa de colinas e de vales.

O CÉREBRO EM TEMPO REAL

Acabamos de ver que os rostos e as palavras ativam setores distintos do córtex. Mas existe igualmente outra diferença importante entre essas duas categorias de imagens. Quando lemos uma palavra, o hemisfério esquerdo joga um papel preponderante. Para reconhecer os rostos, é o hemisfério direito que é fundamental. Assim, mesmo se os dois hemisférios são inicialmente estimulados em partes iguais, rapidamente ocorre uma triagem: em algumas centenas de segundo, as palavras são orientadas em direção ao hemisfério esquerdo e os rostos em direção ao direito. A lateralidade rápida em direção ao hemisfério esquerdo faz parte das propriedades essenciais da leitura.

Jamais a triagem precoce teria sido descoberta se só dispuséssemos da câmera com pósitrons ou da IRM funcional. Esses métodos, baseados sobre a medida da vazão sanguínea cerebral, são muito lentos para seguir em tempo real as palpitações da atividade cerebral. Quando uma região cortical é solicitada, muitos segundos decorrem antes que a vazão sanguínea aumente. Assim, as imagens obtidas são comparáveis às dos astrônomos que colhem a luz passada das estrelas: com a IRM funcional, visualizamos o estado de atividade do cérebro tal como ele estava há alguns segundos. Esse

atraso introduz inevitavelmente uma imprecisão que limita de forma considerável o estudo do desenvolvimento temporal da atividade cerebral.

Muito felizmente, outras técnicas de imagem, a eletro e a magnetoencefalografia permitem seguir a atividade do cérebro em tempo real. Como funcionam esses métodos? Eles repousam sobre a mensuração indireta das correntes que circulam no seio dos neurônios. Cada neurônio possui arborizações, os dendritos, pelas quais ele escuta as mensagens de milhares de outros neurônios com os quais está em contato. A partir de quando são estimulados, os dendritos são percorridos por minúsculas correntes elétricas. Quando milhares de dendritos, todos alinhados perpendicularmente à superfície do cérebro, são ativados ao mesmo tempo, suas correntes se somam. A soma cessa então de se tornar desprezível, a ponto de ser possível mensurá-la do exterior do crânio.

Dois métodos são disponíveis. O eletroencefalograma, aplicado pela primeira vez no homem por Hans Berger, em 1924, consiste em mensurar, com um voltímetro muito sensível, as diferenças de potencial da ordem do microvolt que essas correntes neuronais induzem até a superfície do escalpo. A magnetoencefalografia, explorada desde 1968 por David Cohen e seus colegas do MIT, detecta as variações minúsculas do campo magnético induzidas por essas mesmas correntes. Mais cara que a eletroencefalografia, ela requer precauções técnicas minuciosas, uma vez que o sinal magnetoencefalográfico é da ordem do femtofard[27a], ou seja, um bilhão de vezes menos que o campo magnético terrestre.

Os dois métodos apresentam uma excelente precisão temporal, uma vez que a propagação da atividade eletromagnética do cérebro até os captores é praticamente imediata. Obtém-se, assim, uma série instantânea do cérebro em ação. Aplicados à leitura, esses métodos revelaram a enorme velocidade com a qual o cérebro do leitor efetua uma primeira triagem das imagens que ele recebe.

Assim, Antti Tarkiainen e seus colegas da Universidade de Helsinski mediram a atividade magnética do cérebro quando da apresentação de palavras e rostos (Figura 2.8)[28]. Seus resultados revelam duas etapas principais de tratamento visual no córtex. Numa primeira fase, observada em torno de 100 milissegundos depois do aparecimento das imagens na retina, os dois tipos de imagens não se distinguem: palavras e rostos ativam regiões comparáveis do polo occipital, bem atrás da cabeça. Essas regiões efetuam uma primeira análise da imagem para extrair provavelmente as formas elementares: traços, curvas e superfícies... Nesse estágio do tratamento da informação, o cérebro não sabe ainda de

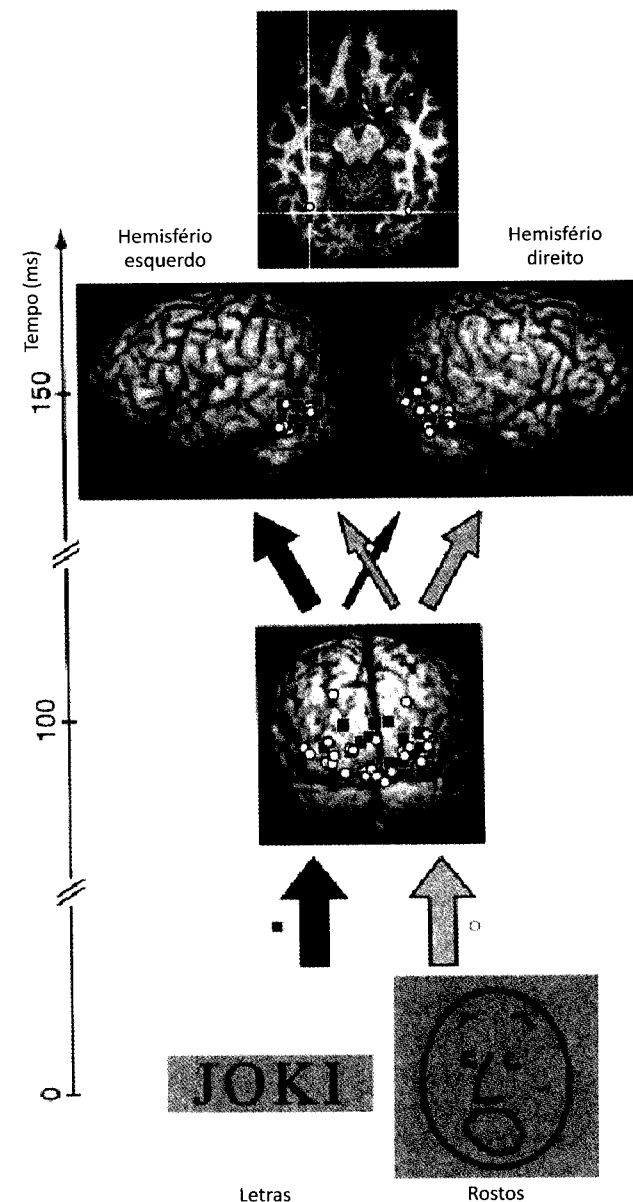



Figura 2.8 A magnetoencefalografia permite seguir, na escala de milissegundos, o decurso temporal da atividade cerebral, no curso do reconhecimento das palavras e rostos. Ao redor de 100 ms., essas categorias não evocam ainda a diferença detectável no seio da região occipital. Depois de 150 ms., as palavras são canalizadas em direção da região occípito-temporal ventral do hemisfério esquerdo, enquanto os rostos ativam principalmente a região simétrica do hemisfério direito (cf. Tarkiainen et al., 2002).

qual estímulo ele vai se ocupar. Mas apenas 50 milissegundos mais tarde, começa a triagem da informação visual. As palavras evocam uma resposta ampla, fortemente lateral no hemisfério esquerdo. A eletroencefalografia permite igualmente medi-la sob a forma de voltagens negativas que emergem de súbito, em torno de 170 milissegundos, na parte inferior e atrás da cabeça. Sua amplitude é bem maior na parte acima do hemisfério esquerdo do que no direito. Para os rostos, é o inverso: os potenciais dominam nitidamente a parte acima do hemisfério direito.

Uma reconstrução das fontes eletromagnéticas localiza a atividade cerebral na parte posterior do sulco occípito-temporal – a mesma região que tínhamos identificado com a IRM funcional.

Assim, a combinação dos métodos de imagem permite afirmar que essa região, no hemisfério esquerdo, joga um papel precoce e específico no reconhecimento das palavras. Mesmo se os dois hemisférios abriguem competências para o reconhecimento de palavras e rostos, o hemisfério esquerdo apresenta um viés importante para a leitura e o direito, para os rostos. Ler e reconhecer um rosto são operações de tal modo diferentes que nosso sistema visual não pode se contentar com mecanismos genéricos de tratamento das imagens. Assim que as primeiras etapas são ultrapassadas, mecanismos especializados se põem em campo.

OS ELETRODOS NA CABEÇA

A especialização de certas áreas visuais para a leitura se revela às vezes de modo ainda mais imediato. Entre certos pacientes, é possível registrar diretamente a atividade cerebral, com a ajuda de eletrodos colocados sobre o cérebro, ou mesmo implantados em profundidade no córtex ou nos núcleos grises subjacentes. Essa implantação de eletrodos intracranianos consiste numa operação excepcional, e é evidente que não a praticamos jamais sem uma razão de ordem médica. Ela é principalmente utilizada na exploração da epilepsia. Alguns pacientes que sofrem de epilepsia severa são rebeldes a todo tratamento através de medicamentos. É necessário, então, buscar uma intervenção cirúrgica a fim de eliminar a região cerebral anormal, chamada de "foco", de onde partem as crises. É uma operação com êxito na grande maioria dos casos, sem deixar sequelas graves. Contudo, torna-se necessário identificar com precisão o foco da epilepsia. A implantação de eletrodos permanece o melhor método para tal fim. Durante alguns dias, o paciente é coberto por dezenas de eletrodos em torno da zona provável do foco. Em contato direto com o córtex eles são capazes de capturar os sinais elétricos circundantes com a maior sensibilidade. Nos centros mais atualizados, registra-se a atividade cerebral contínua e tudo é filmado noite e dia. Assim, o menor começo de agitação cerebral poderá ser reconstituído *a posteriori*, e sua origem rastreada até sua fonte. Mas, entre duas crises, nada impede a análise da atividade elétrica das regiões cerebrais que, com frequência, conservam um funcionamento próximo do normal. Com o consentimento do paciente, podem-se, igualmente, examinar as respostas do cérebro às estimulações exteriores tais como as palavras e os rostos.

Os neurologistas Truett Allison, Gregory McCarthy e seus colegas da Universidade de Yale lançaram-se, assim, a um programa impressionante de pesquisas que, ao longo dos anos, os conduziram a registrar as respostas intracranianas de mais de uma centena de pacientes[29]. Sua técnica cirúrgica consiste em envolver os lobos temporais e occipitais com fitas com eletrodos colocados sob a dura-máter, diretamente em contato com a superfície cortical (Figura 2.9). Espaçados por 5, ou 10 milímetros, eles fornecem agora um panorama das etapas da leitura, com uma precisão muito alta, tanto espacial quanto temporal.

O método dos eletrodos implantados confirmou a rapidez do tratamento das palavras. Cerca de 180 ou 200 milissegundos após uma imagem ser apresentada à retina, ondas negativas de muito grande amplitude aparecem sobre certos eletrodos na face ventral das regiões occipitais e temporais. Elas se concentram no hemisfério esquerdo para as palavras e no hemisfério direito para os rostos. A surpresa reside na extrema especificidade das respostas. Não é raro que um só eletrodo mostre uma resposta maciça às palavras, enquanto seus vizinhos não demonstrem nenhuma reação. Mais surpreendente ainda, um eletrodo pode responder vigorosamente às palavras, mas não apresentar nenhuma perturbação quando se lhe apresentam outras categorias de imagens, tais como rostos, objetos, ou formas sem significação. Essa descoberta implica a existência de micro-territórios corticais dedicados às palavras e insensíveis a toda outra forma de estimulação.

É forçoso, então, concluir que devem existir neurônios que respondem às letras e às palavras; que esses neurônios são suficientemente numerosos e sincronizados para gerar, quando descarregam em conjunto, potenciais evocados de talhe macroscópico; que eles ocupam regiões importantes do córtex cerebral, da ordem de vários milímetros quadrados, nas quais eles dominam de forma vasta toda outra forma de seletividade visual e, enfim, que essas regiões, entre todos os bons leitores, se encontram num setor similar, no bordo do sulco occípito-temporal esquerdo.

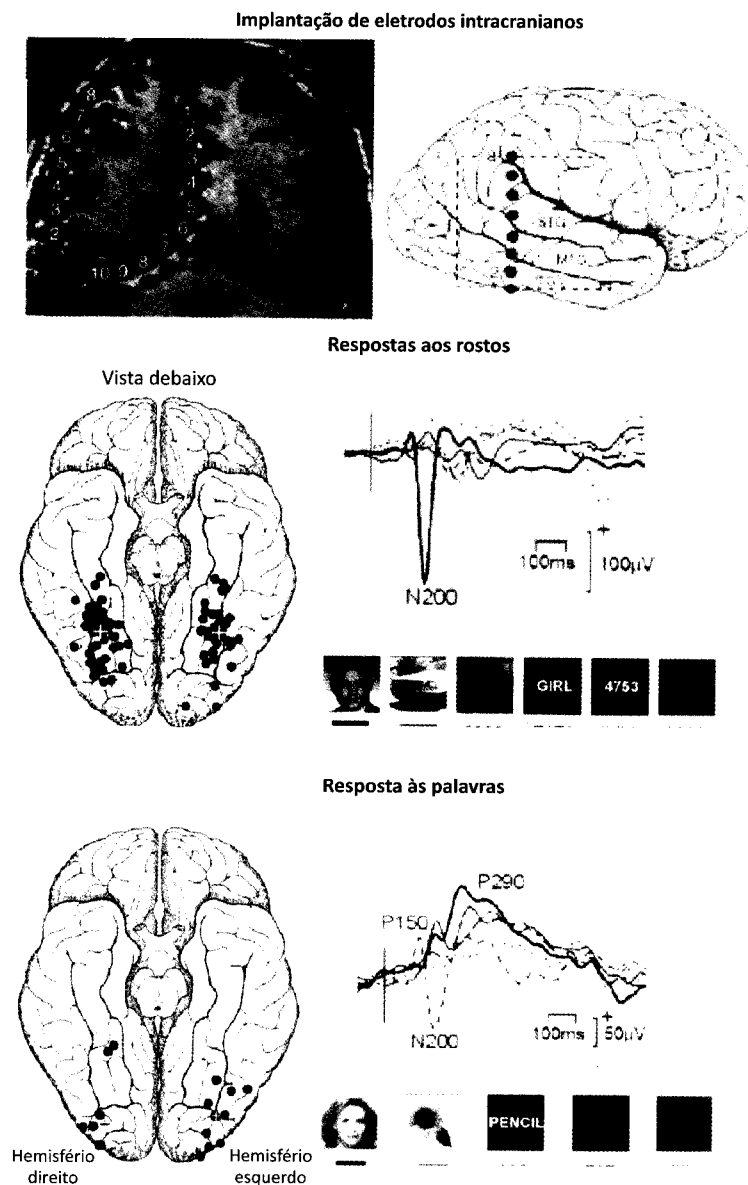



Figura 2.9 A implantação de eletrodos na superfície do córtex revela a especialização das funções corticais com uma notável precisão espacial e temporal. Em certos eletrodos, o sinal elétrico se altera brutalmente, entre 150 e 200 ms, unicamente diante da apresentação de uma categoria de imagens. Certos setores preferem os rostos, outros, as palavras. Ao reagrupar os dados de numerosos pacientes num espaço anatômico estandardizado, constata-se que os rostos são tratados preferencialmente na região occípito-temporal direita, e as palavras, na esquerda (cf. Allison et al., 1999).

Ao longo dessas pesquisas, a região occípito-temporal aparece, pois, como um mosaico de sistemas de reconhecimento especializados para diferentes aspectos do tratamento visual: palavras, rostos, objetos... Todas essas regiões são entremeadas e distribuídas sobre a face ventral do córtex. Para essas categorias de objetos, cada pessoa apresenta picos corticais preferenciais. Mais surpreendentes ainda, esses picos se encontram sistematicamente em posições similares entre todos os indivíduos. A região que responde às palavras, em particular, está sistematicamente encaixada entre as regiões que preferem reconhecer os rostos, e as outras, que respondem melhor aos objetos. Esse ordenamento sistemático conclama uma explicação.

No caso dos rostos, Nancy Kanwisher, professora no MIT, propôs uma hipótese evolucionária simples: entre os primatas, para os quais a vida social joga um papel preponderante, uma área cortical especializada teria evoluído para permitir o reconhecimento dos rostos[30]. Contudo, no caso da leitura, a explicação darwiniana não funciona. Nenhuma pressão de seleção comparável poderia dar conta da existência de uma região seletiva para as letras e palavras. Como o cérebro dos primatas poderia antecipar o aparecimento da escrita a ponto de para ela dedicar uma região? É assim que se coloca hoje o paradoxo da leitura, com uma acuidade exacerbada pela precisão das novas técnicas da imagem cerebral.

Antes de levantar uma ponta do véu, examinemos mais de perto o papel exato da região da forma visual das palavras. Como ela reconhece as palavras? Essas respostas refletem uma especialização autêntica para as palavras, ou uma preferência pelos traços e curvas que compõem nossas letras, que poderia, então, ter evoluído em virtude de outra razão diferente? Para sabê-lo, deveremos nos debruçar sobre experiências mais sofisticadas que o simples contraste entre palavras e rostos.

A INVARIÂNCIA DA POSIÇÃO

Um dos traços mais impressionantes de nosso sistema visual é sua capacidade de invariância espacial: todo bom leitor consegue reconhecer as palavras, seja qual for a posição que elas ocupem – com a condição, certamente, de não excederem a resolução limitada de nossa retina.

Com Laurent Cohen e Nicolas Molko, utilizei a imagem cerebral para mostrar que a região occípito-temporal ventral esquerda está na origem dessa invariância perceptiva[31]. Simplesmente, solicitamos a nossos voluntários que fixassem num ponto sobre a tela e, sem mover os olhos,

que lessem mentalmente as palavras que aparecessem à direita ou à esquerda daquele ponto. Por que essa apresentação lateral apresenta um interesse particular? Porque é bem conhecido que as projeções visuais são cruzadas: as palavras apresentadas à esquerda da tela se projetam sobre a metade direita da retina de cada olho, de onde a informação é enviada em direção às áreas visuais do hemisfério direito; e, do mesmo modo, as palavras apresentadas à direita da tela são tratadas inicialmente pelo hemisfério esquerdo. Assim, existe uma segregação anatômica completa entre essas duas condições de estimulação – segregação que replicamos em nossas observações. Nas regiões occipitais, a IRM funcional mostra ativações unicamente do lado oposto à apresentação da palavra, notadamente na área visual chamada de V4. O registro dos potenciais evocados indica que esse tratamento unilateral da palavra se prolonga até 160 ou 170 milissegundos depois do aparecimento da palavra (Figura 2.10).

Nesse estágio, contudo, a atividade cerebral muda brutalmente. Em algumas dezenas de milissegundos, toda a atividade báscula no hemisfério esquerdo. A mudança mais espetacular se produz, porém, para as palavras apresentadas do lado esquerdo, inicialmente tratadas pelo hemisfério direito: elas são, de súbito, transferidas para o outro hemisfério e, a partir de 200 milissegundos, seu tratamento não difere mais daquele das palavras apresentadas ao lado direito.

A IRM funcional revela o lugar dessa convergência entre os hemisférios. Os sinais provenientes da região direita e esquerda da retina convergem em direção à região da forma visual das palavras, o mesmo lugar das lesões de alexia pura. Essa região do hemisfério esquerdo é ativada de forma idêntica, com o mesmo contorno espacial e a mesma intensidade, quer as palavras sejam apresentadas à direita ou à esquerda da fóvea. Ela é a primeira a reconhecer que uma palavra é repetida identicamente, seja qual for a posição na qual ela aparece[32].

Para realizar essa invariância, a região da forma visual das palavras deve colher informações visuais, provindas das duas metades do campo visual. Ela deve, pois, receber conexões das regiões visuais do hemisfério esquerdo, mas igualmente de regiões mais longínquas do hemisfério direito, que jogam um papel insubstituível no tratamento inicial das palavras apresentadas do lado esquerdo. Ora, a grande maioria das conexões entre os hemisférios, sabemos, transita através do corpo caloso, um vasto feixe que reagrupa milhões de fibras nervosas. Esse raciocínio elementar conduz, pois, a uma predição estranha: se uma lesão vascular vier interromper o corpo caloso, deveríamos observar uma perturbação

Ponto de fixação do olhar

Palavras apresentadas à esquerda + Palavras apresentadas à direita

Etapa 1: Tratamento confinado a um hemisfério (retinotopia)

Área V4 do hemisfério direito — 168 ms — Área V4 do hemisfério esquerdo — 152 ms

Etapa 2: Convergência em direção à região ventral esquerda (invariância)

Área da forma visual das palavras (hemisfério esquerdo) — 200 ms — Área da forma visual das palavras (hemisfério esquerdo) — 184 ms

Figura 2.10 Seja qual for a posição sobre a retina, as palavras que lemos convergem em direção à região occípito-temporal do hemisfério esquerdo (invariância espacial). Nessa experiência, os participantes leem palavras apresentadas à esquerda ou à direita do ponto de fixação do olhar. Cerca de 150-170 ms após o aparecimento da palavra, uma primeira onda negativa aparece no lado oposto à palavra. Ela é associada à ativação de uma região visual situada atrás, no cérebro e chamada de área V4. Nesse estágio, a informação visual permanece confinada a um hemisfério. Ao redor de 180-200 ms, contudo, uma segunda negatividade aparece, sempre do lado esquerdo do escalpo, seja qual for o lado de apresentação da palavra. A IRM confirma a convergência da ativação em direção à região occípito-temporal ventral do hemisfério esquerdo (cf. Cohen et al., 2000).

na leitura restrita à metade esquerda do campo visual. As palavras, apresentadas ao lado esquerdo, deveriam contatar normalmente as regiões visuais do hemisfério direito, mas deveriam ali permanecer confinadas, incapazes de alcançar as áreas da linguagem do hemisfério esquerdo. O paciente deveria, pois, as ver, sem poder lê-las. As palavras apresentadas à direita, essas sim, deveriam ser lidas normalmente.

Essa estranha síndrome de "hemialexia", sim, existe comprovadamente. Laurent Cohen e eu próprio a estudamos em dois pacientes que

sofreram lesões posteriores do corpo caloso[33]. Vemos na Figura 2.11 a atividade cerebral observada pela IRM funcional num dos dois pacientes, o senhor A. C. Quando as palavras apareciam à direita da tela, esse senhor as lia perfeitamente. Ao contrário, quando as palavras eram apresentadas à esquerda, ele não as conseguia nomear, senão ao preço de um procedimento longo e indireto. Ele afirmava que não via a palavra mesma e sim uma imagem que ele conseguia nomear num tempo bem mais longo que uma pessoa normal (cerca de dois segundos). De fato, a IRM mostrou que as palavras apresentadas à esquerda não ativavam a região da forma visual das palavras. Ao contrário, elas acarretavam ativações pré-frontais que refletiam provavelmente a busca laboriosa da palavra associada à imagem que o senhor A. C. via.

Em resumo, o senhor A.C. tinha perdido uma via anatômica essencial à leitura, a que permite aos sinais das letras que entram no hemisfério direito alcançar o hemisfério esquerdo via a porta de entrada visual nas áreas da linguagem, a região occípito-temporal esquerda. Se o senhor A.C. conseguisse ainda ler algumas palavras apresentadas à esquerda, era, sem dúvida, porque ele tinha reaprendido a reconhecer no hemisfério direito, as mais frequentes e as mais concretas dentre elas. A parte anterior intacta de seu corpo caloso lhe permitia provavelmente transferi-las às regiões frontais esquerdas sob a forma de uma imagem. O exame de sua história clínica mostra que inicialmente ele não conseguia absolutamente ler as palavras à esquerda, como a imensa maioria dos pacientes vítimas de lesões posteriores do corpo caloso. Só uma lenta aprendizagem lhe havia permitido inventar essa estratégia indireta de passagem pelo significado.

A densa rede de conexões do corpo caloso joga, pois, um papel essencial na invariância espacial da leitura. As letras que aterrissam à direita do ponto de fixação entram no hemisfério esquerdo e não têm um grande trajeto a percorrer: elas contatam a região da forma visual das palavras bem diretamente, pelos vieses de conexões curtas e internas da região occípito-temporal esquerda. As letras à esquerda, ao contrário, contatam de início o hemisfério direito e devem, em seguida, ser transferidas via um laborioso percurso através do corpo caloso. Sem dúvida, essa trajetória complicada explica, ao menos em parte, o fato de que a leitura, mesmo num leitor com cérebro intacto, seja mais lenta e cheia de erros quando as palavras são apresentadas no lado esquerdo do que quando aparecem no lado direito. A extensão maior do trajeto e o volume menor de informações que o corpo caloso é capaz de examinar impõem um custo ao reconhecimento visual. No cérebro humano a inva-

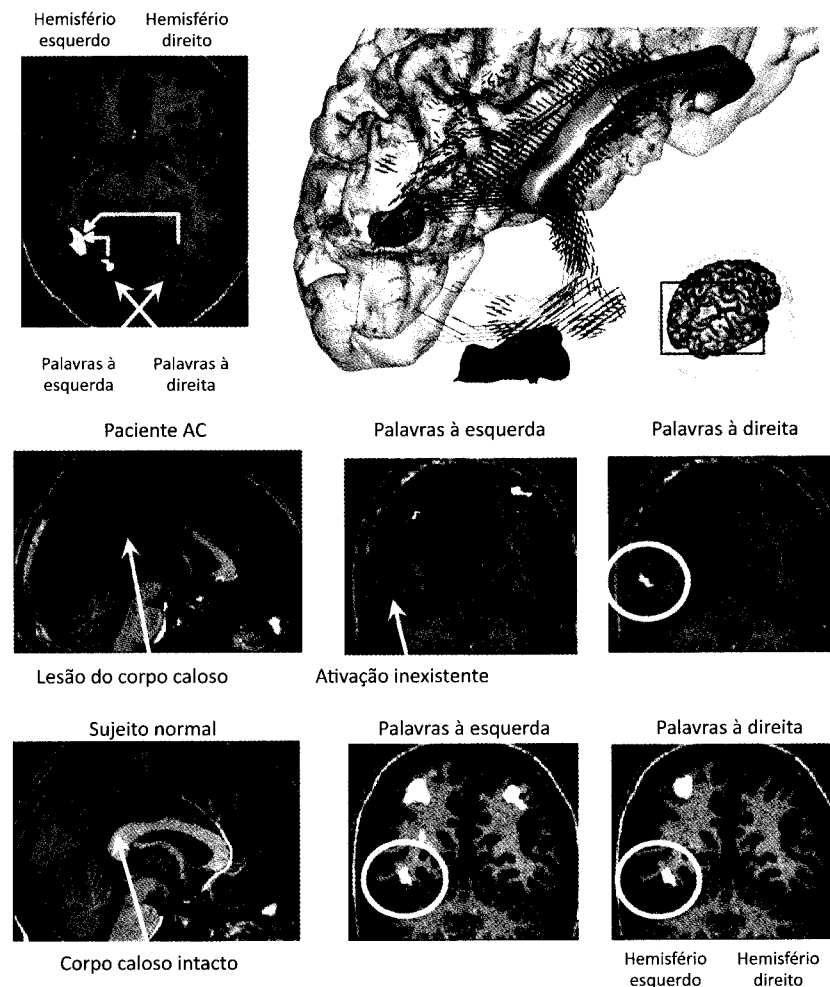



Figura 2.11 A invariância visual repousa em parte sobre as conexões inter-hemisféricas do corpo caloso. Quando uma palavra é apresentada à esquerda do ponto de fixação, ela é então tratada pelas áreas visuais do hemisfério direito e deve, em seguida, ser transmitida à região da forma visual das palavras no hemisfério esquerdo. Um vasto feixe de fibras, tornado visível graças à IRM de difusão, religa essas regiões (ao alto, à direita). Num paciente vítima de uma lesão na parte posterior do corpo caloso, essa transmissão fica interrompida, o que torna impossível a leitura das palavras apresentadas à esquerda (cf. Cohen et al., 2000 e Molko et al., 2002).

riância para a posição é, pois, parcial: nem todas as zonas da retina são tão eficazes para reconhecer as palavras e nos assemelhamos um pouco ao senhor A.C. no que diz respeito a que vemos melhor as palavras do lado direito que do lado esquerdo[34].

Com a ajuda da imagem cerebral, pudemos visualizar mais diretamente o feixe de conexões lesado no senhor A.C. Uma variante da IRM permite, com efeito, medir a direção das fibras no cérebro humano. Para tal, utiliza-se uma sequência de IRM, sensível à difusão espacial das moléculas de água. Contentemo-nos em dizer, para simplificar, que imantamos duas vezes os átomos da mesma região em dois sentidos opostos. Os átomos que não se deslocam geram sinais que se anulam. Por outro lado, quanto mais uma região contenha átomos de hidrogênio que se deslocam, mais o sinal de IRM aumenta. Ora, as moléculas de água, que carregam a maioria dos átomos de hidrogênio, se deslocam constantemente.

A IRM de difusão permite medir esse movimento microscópico e aleatório que se denomina "movimento browniano". Nos tecidos biológicos, esses movimentos das moléculas de água vêm apoiar-se nas membranas das células. Em consequência, se efetuarmos essa medida na substância branca, composta principalmente de feixes de conexões nervosas, ver-se-á a difusão da água tomar a direção principal das fibras. A IRM de difusão permite assim medir em cada ponto do cérebro a direção das conexões mais densas. Ao conectar entre elas esses pequenos vetores locais, com a ajuda de um algoritmo informatizado, obtém-se uma imagem tridimensional dos feixes de fibras, e podem-se deduzir quais regiões são conectadas entre si. Essa informação é muito nova: mesmo pela dissecação, seguir o traçado das conexões no cérebro humano se torna muito difícil. Antes do advento do IRM, o único atlas sério das conexões humanas datava de... Joseph-Jules Déjerine, um século atrás! A IRM de difusão do senhor A. C., nosso paciente "hemi-aléxico", imediatamente, mostrou uma anomalia notável[35]. Toda a parte posterior do corpo caloso e uma importante fração da substância branca não mostravam a anisotropia da difusão da água, isto é, que o sinal tinha perdido a direção que ele possui num cérebro normal. As fibras calosas atingidas pela lesão vascular tinham, pois, degenerado, deixando as moléculas de água livres para se mover sem restrição. O sinal de difusão anormal traçava, como em negativo, as vias calosas lesionadas e revelava seu percurso nos dois hemisférios, aí compreendido nas regiões onde o sinal do IRM *standard* parecia normal. Ao retraçar seu trajeto num cérebro são, foi-nos possível reconstituir o feixe que o senhor A. C. tinha perdido (Figura 2.11). Esse se estende, efetivamente, desde as regiões visuais occipitais direitas até a região ventral esquerda, contornando a córnea posterior dos ventrículos e atravessando o corpo caloso. Não afirmamos, contudo, que esse feixe veicule unicamente as informações visuais sobre as letras e as palavras: na verdade, é eminentemente provável que um feixe tão volumoso transporte igualmente muitas outras informações tais como a cor, a forma ou identidade dos objetos, que o senhor A.C. não podia igualmente transferir a seus dois hemisférios.

Tal é o poder da imagem cerebral moderna: visualizar não somente as dobras do córtex, mas igualmente as regiões ativadas e mesmo os feixes que as conectam. A imagem de difusão joga hoje um papel fundamental em neurologia clínica, ao permitir avaliar os acidentes vasculares e muitas outras patologias mais especificamente ligadas à conectividade cerebral, tais como a esclerose em placas. A informação obtida pela IRM de difusão ainda é apenas anatômica: ela reflete a presença de conexões, mas não o estado de sua atividade. Ainda não é possível medir a utilização preferencial desse ou daquele feixe no curso de uma atividade mental. Contudo, essa pista torna-se o objeto de pesquisas promissoras que visam a explorar as informações funcionais disponíveis no sinal da difusão[36]. Apostamos em que avanços importantes nos aguardam ainda nesse domínio.

O RECONHECIMENTO SUBLIMINAL DAS PALAVRAS

Retornemos à leitura. Acabamos de ver que a região occípito-temporal esquerda, que se ativa no curso da leitura, reúne informações visuais e nos permite reconhecer as palavras ao aparecerem na retina. Mas a invariância espacial não é senão uma das propriedades fundamentais que deve possuir o reconhecimento dos caracteres. Ela deve igualmente franquear a forma precisa dos caracteres. Todo bom leitor sabe não somente reconhecer um "A" e um "a", mas igualmente ler, sem quase nenhuma dificuldade as palavras QuE mIsTuRaM mAiÚsCuLaS e MiNúScUlAs. Como a invariância para a caixa é implementada em nosso cérebro? Ela apela para as mesmas regiões que a invariância da posição? Ela acontece no mesmo momento ou se trata de duas operações sucessivas, escalonadas no tempo e no espaço do córtex?

Thad Polk e Martha Farah realizaram uma experiência muito simples[37]: eles mensuraram a atividade cerebral em IRM funcional enquanto os participantes liam palavras onde as maiúsculas e as minúsculas se sucediam como em "ArAnHa". Embora pouco familiares, os estímulos envolviam praticamente as mesmas ativações que as palavras normais. Em particular, a região da forma visual das palavras respondia com um perfil normal de intensidade. Assim, os autores sugeriram que essa região

compreende uma representação abstrata das letras e das palavras, independente da forma particular das letras.

Contudo, esses resultados são verdadeiramente conclusivos? A resolução espacial modesta da imagem não permite afirmar que são exatamente os mesmos neurônios que respondem quando se veem as palavras "CaVaLo", "cAvAlO", "CAVALO" e "cavalo". Pode ser que a ativação global seja a mesma, e se situe no mesmo local, sem que, contudo, o problema da invariância perceptiva seja resolvido nessa região. Toda a dificuldade consiste em mostrar que os mesmos neurônios, nessa região, realmente reconheceram duas vezes a mesma palavra a despeito das variações superficiais da forma das letras. Como a imagem não permite ver os neurônios individuais, esse problema pode parecer insolúvel. Contudo, uma técnica indireta permite abordá-lo. É o método de gatilho (amorçage)[38]. Seu princípio consiste em medir a atividade cerebral em resposta a pares de palavras sucessivas. A cada ensaio, se apresentam dois estímulos, um após o outro, com um intervalo muito breve. A astúcia consiste em comparar a atividade evocada quando os dois estímulos representam a mesma palavra numa fonte ou caixa diferente ("cavalo", seguido de "CAVALO") e, quando correspondem a palavras diferentes ("parede", seguido de "CAVALO"). Sabe-se através de experiências com animais, que os neurônios são sensíveis à repetição. A taxa de descarga diminui rapidamente quando se repete várias vezes a mesma imagem, enquanto ela sobe a um nível elevado, quando uma imagem nova é apresentada. Espera-se, pois, que o sinal da IRM siga o mesmo perfil e nos indique, indiretamente, que os neurônios da região em pauta perceberam a repetição do mesmo objeto.

Existe um último refinamento: não é necessário que os participantes estejam conscientes da repetição das palavras. Na verdade, é melhor que eles não se apercebam de nada. Se eles souberem que as palavras são repetidas, é provável que sua atenção se modifique. A redução do sinal de IRM causada por essa mudança de atenção se propagará então a múltiplas regiões do cérebro, e não se poderá afirmar que ela esteja refletindo a detecção local de uma invariância perceptiva – mas somente a desatenção do sujeito.

É essa a razão pela qual, no curso de minhas experiências, a primeira palavra seja apresentada com muita brevidade: 29 milésimos de segundo, ou seja, menos que a duração de uma imagem de cinema. Deparamo-nos aqui com condições de percepção subliminal. Como o miolo de um sanduíche, entre formas geométricas aleatórias e sem significação, afixadas exatamente no mesmo ponto na tela, a palavra se torna totalmente invisível. O participante não vê senão um breve sinal visual em pisca-pisca, seguido da segunda palavra. Verifica-se, além do mais, que ele não é capaz de extrair a menor informação da palavra mascarada: ao lhe proporcionarmos a escolha entre duas palavras possíveis, que não têm uma só letra em comum, ele é incapaz de reconhecer a palavra escondida e responde ao azar.

Qual é, nessas condições de apresentação subliminal, o impacto da repetição da palavra no cérebro do leitor? Embora invisível, a palavra mascarada influencia a leitura. A região da forma visual das palavras reduz sua atividade quando a mesma palavra é apresentada duas vezes em sequência (Figura 2.12). De forma crucial, ele o faz igualmente bem, quando as palavras forem apresentadas na mesma caixa, por exemplo, "cavalo", seguida de "cavalo", ou quando a caixa difere, como em "CAVALO", seguida de "cavalo". Não é o que ocorre em todas as regiões do cérebro: as regiões mais posteriores do lobo occipital, implicadas nos processos visuais de nível mais baixo, não reduzem sua atividade a não ser que o mesmo objeto visual idêntico ao anterior seja apresentado. Elas não respondem senão em presença de traços elementares sobre a retina e a menor modificação é interpretada como um estímulo novo. Por oposição, a região da forma visual das palavras realiza uma operação mais abstrata: ela é capaz de reconhecer que um "a" e um "A" correspondem, num nível mais abstrato, ao mesmo estímulo. É bem nesse nível, pois, que se resolve o problema da invariância visual no curso da leitura[39].

Experiências ulteriores permitiram dissecar algumas etapas do reconhecimento das letras. Suponhamos que eu lhes apresente a palavra "ANGRAS", seguida da palavra "sangra". Tais pares de palavras constituem anagramas muito particulares. Eles são constituídos não somente das mesmas letras como também podem passar de uma para outra, deslocando uma só letra da primeira à última posição. Se eu apresentar essas duas palavras sucessivamente, eu posso até conseguir que todas as letras comuns

"A", "N", "G", "R", "A" e "S" sejam apresentadas exatamente no mesmo ponto sobre a tela. Essa astúcia permite, pois, repetir as letras sem, contudo, repetir as palavras. Isso é suficiente para obter um efeito de gatilho ou detonação, ou será necessário repetir a palavra inteira? Dito de outro modo, a região da forma visual das palavras se interessa pelas letras ou pelas palavras inteiras? A experiência mostra que existem, de fato, vários níveis sucessivos de codificação que constituem uma hierarquia de invariância crescente[40]. Vejamos os principais graus.

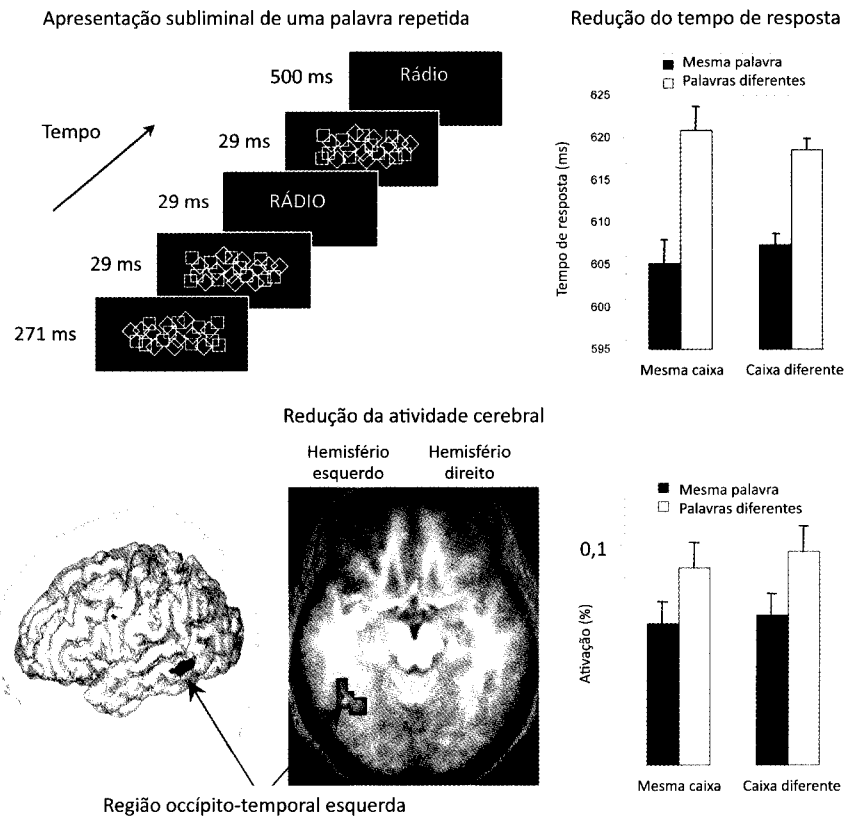



Figura 2.12 As palavras escritas podem ser reconhecidas de modo não consciente ou "subliminal". Nessa experiência, uma palavra é apresentada durante 29 ms entre outras formas, como o miolo de um sanduíche, o que a torna totalmente invisível. Contudo, essa palavra não consciente acelera as respostas dos participantes quando aparece em seguida de forma consciente (diagrama ao alto, à direita). A imagem cerebral mostra que a região occípito-temporal esquerda é responsável por esse efeito de gatilho: sua atividade diminui quando a mesma palavra for repetida, mesmo se sua forma mudar radicalmente quando se passa das maiúsculas às minúsculas (cf. Dehaene et al., 2001).

O nível mais baixo, o do tratamento das letras, é observado na parte posterior da região occípito-temporal, e isto, nos dois hemisférios. Nesse nível, apenas são codificadas as letras isoladas. É necessário ainda que elas sejam repetidas exatamente no mesmo lugar na tela: se a mesma palavra for apresentada deslocando uma letra para a esquerda, essa região não causará nenhum gatilho ou detonação, o que significa que os neurônios não reconhecem que se trata das mesmas letras. Dito de outro modo, a invariância de posição não existe ainda nesse nível.

Contudo, essa região é muito abstrata para resistir a uma mudança de maiúsculas para minúsculas. Pensa-se, pois, que ela contém uma série de detectores abstratos das letras, capazes de perceber a presença da letra "A" num ponto preciso da retina, seja ela escrita como "A" ou "a".

Um nível mais avançado de invariância perceptiva se atinge na região imediatamente anterior do hemisfério esquerdo, um centímetro à frente. Essa região percebe a semelhança entre palavras como "SANTA" e "antas", mesmo que suas letras não sejam perfeitamente superpostas. Dito de outro modo, essa região codifica as letras ou grupos de letras – mas não a palavra inteira -, e tolera uma mudança de posição dessas letras no espaço. Ela permite, pois, a percepção da semelhança ortográfica entre as palavras, independentemente da posição das letras. Como demonstraram recentemente nossos colegas de Oxford, é verossímil nesse nível que as relações morfológicas entre as palavras sejam reconhecidas, isto é, a presença de radicais comuns em palavras como "caça" e "caçador"[41]. Nesse estágio, os radicais ainda não recebem uma interpretação semântica: a significação dessas palavras ainda não é codificada, mas somente a presença de um radical comum, de modo que essa região encontrará o mesmo radical em "livro" e "livrar". Nesse ponto do tratamento da informação, o sistema visual julga útil decompor as palavras simplesmente numa arborescência estruturada de letras, grafemas, sílabas e morfemas.

Ainda um centímetro mais adiante, na região temporal esquerda, vê-se aparecer uma codificação visual mais seletiva: o gatilho ou detonação ocorre com muito mais força quando a palavra for repetida ("ANTAS", seguida de "antas") do que quando somente suas letras o forem, mas compuserem outra palavra (SANTA seguida de "antas"). Nesse nível, é, pois, a cadeia de caracteres toda inteira que é codificada, ou, pelo menos, grandes sequências de letras como "anta".

Essas experiências são surpreendentes na medida em que elas desvelam toda a complexidade do tratamento das palavras escritas. A hierarquia do reconhecimento visual permanece insuspeitada pelo leitor que, ingenuamente, tem a impressão de ter acesso direto às palavras escritas. Não se esqueçam de que toda essa atividade cerebral sobrevém quando os participantes não têm nenhuma consciência de ter visto as palavras ou as letras repetidas. Assim, os estímulos subliminares podem ser objeto de uma "ligação" inconsciente: as letras não permanecem desligadas umas das outras, mas formam combinações estáveis que distinguem anagramas tais como "olha" e "halo". Em definitivo, é o conjunto das operações de reconhecimento visual, desde o tratamento da retinia até os

mais altos níveis de abstração e de invariância, que é suscetível de se desenvolver automaticamente, em menos de um quinto de segundo, e fora de todo o controle consciente[42].

A IMPREGNAÇÃO CULTURAL DO CÓRTEX

Um espírito crítico poderia, por direito, objetar que essas operações visuais talvez não tenham nada a ver com a leitura. Quando nosso cérebro reconhece a similaridade entre as palavras "RÁDIO" e "rádio", pode ser que não faça senão normalizar o tamanho das letras. Pode ser que ele identifique as formas "O" e "o", assim como reconhece um garfo visto de longe ou de perto, sejam quais forem seu tamanho ou ângulo de visão. Que provas nós temos de que as operações que efetua a região occípito-temporal esquerda sejam apropriadas à leitura?

Com efeito, a invariância entre maiúsculas e minúsculas constitui, em si, uma prova da adaptação do sistema visual à leitura. Somos de tal forma habituados a associar as letras minúsculas a maiúsculas que não prestamos atenção ao arbitrário de sua forma. Algumas letras se assemelham, sejam maiúsculas ou minúsculas ("o" e "O", "u" e "U", "v" e "V"), mas outras parecem emparelhadas ao azar. Nada predestina a forma "a" a representar a mesma letra que a forma "A": poder-se-ia imaginar um alfabeto em que a letra "e" fosse a minúscula de "A" e "g", a minúscula de "R". A associação minúsculas-maiúsculas é uma convenção arbitrária à qual nos adaptamos quando aprendemos a ler.

Quais regiões cerebrais estão implicadas nessa forma de invariância de origem cultural? Uma de minhas experiências de imagem cerebral mostrou muito claramente, uma vez mais, que é a região occípito-temporal esquerda a que internalizou essa convenção[43]. Essa experiência me demandou um pequeno jogo literário no estilo de Jean Perec. Constituí duas listas de palavras francesas (adaptadas ao português pela trad.). Na primeira lista, as palavras se escrevem exclusivamente com letras onde as minúsculas e as maiúsculas têm a mesma forma, apenas com a mudança de tamanho: SUCO-suco, SOCO-soco, COXO-coxo, USO-uso, COZO-cozo... Em outra lista de palavras, as letras minúsculas não têm nenhuma semelhança com as maiúsculas e provêm de uma convenção cultural: GATA-gata, DAMA-dama, REDE-rede, BEM-bem, NADA-nada... Introspectivamente, não se encontra nenhuma dificuldade em reconhecer que se trata das mesmas palavras. Só quando as olhamos mais de perto é

que reconhecemos a exploração realizada por nosso sistema visual, uma vez que "REDE" e "rede" não têm, em absoluto, a mesma forma. Qual região cerebral "sabe" que se trata da mesma palavra?

Os resultados confirmaram o papel central da região occípito-temporal esquerda na leitura. É ela que, uma vez mais, mostra uma redução de ativação quando as palavras são repetidas – sem fazer a mínima diferença entre as palavras objeto de uma convenção cultural e aquelas cujas letras não fazem senão mudar de tamanho (Figura 2.13). Para essa região, um "G" e um "g" são tão semelhantes quanto um "O" e um "o" – prova de que essa região se adaptou às convenções de nosso alfabeto.

Pode-se inferir que devem existir, nessa região, neurônios que respondam de modo idêntico a "G" e "g". Sua resposta não seria devida ao azar ou à organização inata do sistema visual. Ela resulta necessariamente de uma aprendizagem que incorporou as novas associações culturais. Para bem compreender o que essa aprendizagem tem de específico, podemos contrastar essa região esquerda com sua homóloga no hemisfério direito. Meus resultados demonstraram que o hemisfério direito reconhece a similaridade entre palavras que se assemelham como "SUCO" e "suco", mas não entre "GATA" e "gata". Dito de outro modo, entre a maioria dos destros, o hemisfério direito parece aplicar às letras as estratégias de reconhecimento universal, capazes de extrair somente a invariância de talhe e de posição. Só a região visual esquerda parece ter incorporado as convenções culturais exclusivas da leitura.

Dispomos de outras provas da especialização dessa região. Graças à imagem funcional, demonstramos que ela não se contenta em responder passivamente, desde o nascimento, a não importa qual objeto que tenha uma forma próxima de uma letra ou de uma palavra, mas que ela se adapta ativamente à leitura.

Com efeito, não basta apresentar não importa qual cadeia de caracteres para ativá-la. Entre os franceses, por exemplo, a região responde mais fortemente às cadeias de caracteres que formam uma palavra *real* ou plausível, como "MOUTON" (carneiro) ou "BLAUNE" (os equivalentes no português seriam "CAVALO" ou "PARANO"), do que às cadeias que violam a estrutura grafêmica da língua, como "QFSFZG" (Figura 2.14)[44]. Ela responde igualmente melhor às cadeias de letras que às series de números tais como "52314"[45]. Lembremo-nos de que o senhor C., o paciente de Déjerine, sabia ainda ler os números, mas não as letras. Com toda a evidência, somente as cadeias regulares das letras são tratadas nessa região.

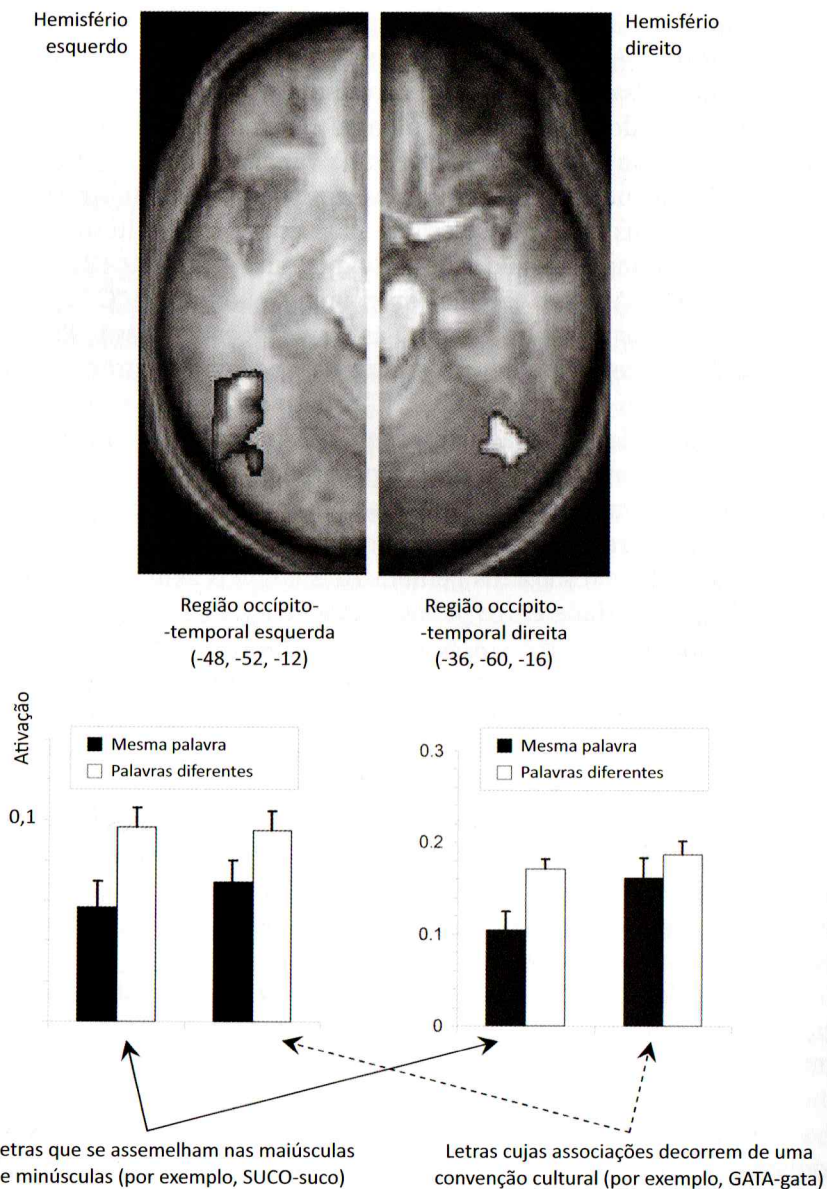



Figura 2.13 A região occípito-temporal esquerda incorporou as convenções culturais da leitura. Ela diminui a atividade quando se lhe apresenta duas vezes a mesma palavra, o que significa que ela reconhece essa palavra mesmo quando passa das minúsculas às maiúsculas. Crucialmente, ela continua a reconhecer as palavras mesmo se suas minúsculas e suas maiúsculas, tais como as letras "e" ou "E" não se assemelhem e não sejam associadas senão por uma pura convenção. A região direita, ao contrário, parece não responder senão à semelhança visual das letras, e não às convenções culturais (cf. Dehaene et al., 2004).

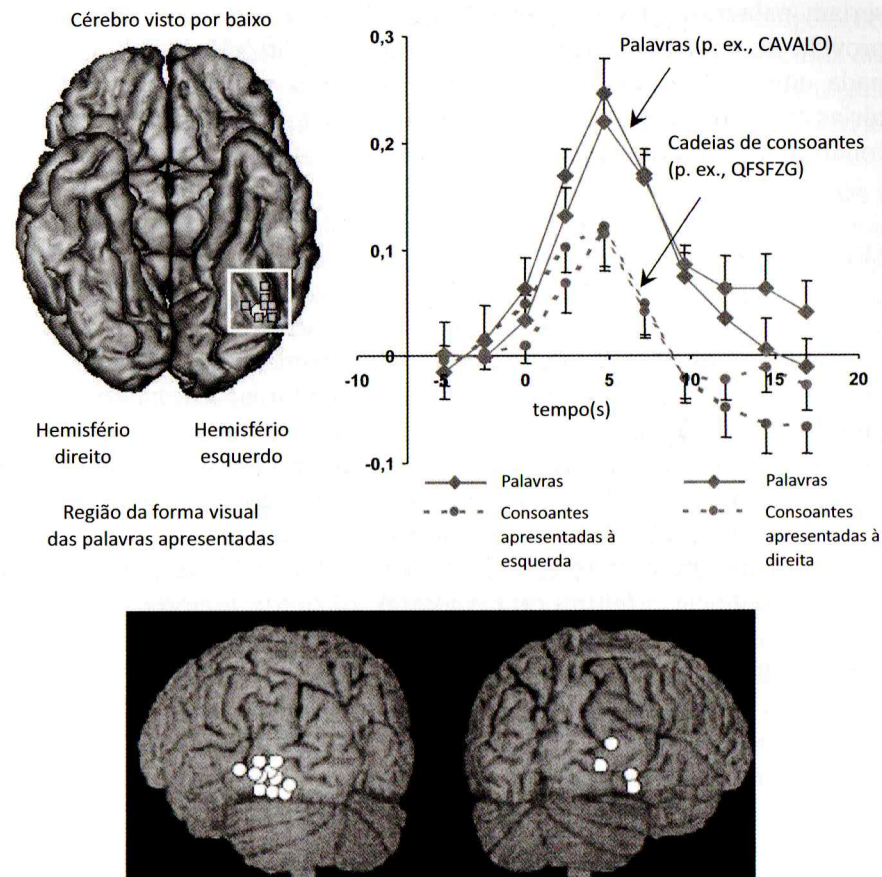



Figura 2.14 A região occípito-temporal esquerda aprendeu as regularidades da ortografia. A IRM funcional (ao alto, cf. COHEN et al., 2002) mostra que ela responde melhor às sequências legais do que às cadeias de consoantes que não respeitam as regras ortográficas do francês – e isso, seja qual for o lado da apresentação. Outra técnica, a magnetoencefalografia (abaixo), revela que essa resposta preferencial para as palavras ocorre ao redor de 150 ms depois de sua aparição sobre a retina (cf. Tarkainen et al., 1999).

O registro dos potenciais evocados permite cronometrar essas divergências: é entre 150 e 190 milissegundos depois do aparecimento dos estímulos que a região occípito-temporal esquerda revela, pela primeira vez sua preferência pelas cadeias de letras bem formadas em relação às sequências de consoantes ou de números[46]. Ora, sob o plano estritamente visual, todos esses estímulos não são, em absoluto, diferentes. Pode-se, mesmo, ir mais longe: a forma dos caracteres sendo totalmente arbitrária, pode-se imaginar outro sistema de escrita no qual 52314 ou QFSFZG

seriam palavras, enquanto MOUTON (carneiro) seria uma cadeia desprovida de significado! A resposta de nossa região não é, pois, determinada unicamente pelo estímulo visual, mas por nossas respectivas histórias culturais. Cada pessoa, ao aprender a ler, adquire detectores neuronais ajustados à língua que ela domina.

LER O CHINÊS

O que acontece em outros sistemas de escrita? Sua variedade é tal que poderíamos esperar uma extraordinária diversidade de ativações cerebrais. Ora, não é nada disso. Em todas as culturas, a despeito das formas de superfície variadas, as palavras escritas se inscrevem sempre na mesma região cerebral, a região occípito-temporal esquerda, com apenas diferenças mínimas ligadas à forma e à estrutura interna dos caracteres.

Conforme especulações neuropsicológicas antigas, no chinês, o reconhecimento dos caracteres seria mais global que na leitura do alfabeto. Em consequência, a leitura do mandarim solicitaria preferencialmente o hemisfério direito, reputado como "holístico", enquanto a leitura das escritas alfabéticas implicaria mais o hemisfério esquerdo. Em suma, as diferenças culturais se traduziriam por importantes mudanças nos circuitos cerebrais da leitura.

Hoje, a imagem cerebral demonstrou com clareza que não é nada disso: a leitura em chinês ativa a região occípito-temporal ventral, com uma lateralidade significativa em favor da esquerda[47]. É extraordinário constatar que a muitos milhares de quilômetros de distância, a despeito das diferenças de metodologia, de recrutamento, da morfologia da caixa craniana, da educação e do sistema de escrita, as coordenadas da região ativada pelo chinês possam se situar a alguns milímetros de distância somente daquelas observadas num sujeito francófono que lê as palavras impressas em caracteres latinos.

A análise de sujeitos que leem várias escritas permite examinar, no seio do mesmo cérebro, a universalidade dos mecanismos de representação das palavras escritas. Em chinês, desde o ano de 1970, existe um sistema oficial de transcrição das palavras no alfabeto latino. Esse sistema, chamado de *pinyin* – palavra que significa "reunião de sons" – faz apelo às 26 letras de nosso alfabeto latino, com frequência, reagrupadas em grafemas tais como "zh", "ch", ou "ang". A palavra "banco", por exemplo, se transcreve yínháng. Muitas crianças chinesas aprendem o *pinyin* antes de

começar a longa aprendizagem dos caracteres. Assim, as jovens gerações são com frequência bilíngues, ou melhor, "bigramas". Com efeito, elas dispõem de duas vias de acesso escrito à mesma língua oral. Ora, a imagem cerebral mostra que as regiões ativadas por esses dois sistemas de escrita se recobrem estreitamente na região occípito-temporal esquerda[48].

Não somente é a mesma região do cérebro que é solicitada para a leitura do chinês e do alfabeto, como, além disso, ela mostra as mesmas propriedades funcionais entre os locutores do chinês e entre os leitores das escritas alfabéticas. Em chinês também, a região occípito-temporal esquerda prefere os verdadeiros caracteres às formas que a elas se assemelham, mas não têm significado[49]. Essa propriedade – análogo direto da preferência pelas palavras em relação às cadeias de consoantes – implica que a região está adaptada às restrições da escrita chinesa. Entre os leitores chineses, é provável que ela compreenda também uma hierarquia de detectores capazes de responder aos marcadores semânticos e fonéticos que compõem os caracteres.

Em consequência, a ideia de um reconhecimento "holístico" dos caracteres chineses parece falsa. O detonador ou gatilho fornece, uma vez mais, a prova de que o sistema visual dos leitores chineses decompõe os caracteres em fragmentos organizados de modo hierárquico. A apresentação subliminal de fragmentos dos caracteres dá lugar a fenômenos de detonação comparáveis aos que se obtêm na escrita alfabética quando se precede uma palavra por um de seus morfemas ("caça", seguida de "caçador")[50].

AS DUAS LEITURAS DO JAPONÊS

Com um colega de Tóquio, Kimihiro Nakamura, eu também estudei a universalidade da leitura, debruçando-me sobre o caso bem particular do japonês[51].

Abram um jornal japonês e descobrirão uma surpreendente mistura de escritas (Figura 2.15). Numerosos caracteres são em notação *kanji*, um vasto jogo de pelo menos 3.000 caracteres, emprestados ao chinês, que representam as palavras. Contudo, outros caracteres são escritos em notação *kana*, um repertório de 48 caracteres que representam as sílabas e permite transcrever a pronúncia de não importa qual palavra, particularmente empréstimos estrangeiros. Uma grande quantidade de nomes pode se escrever tão bem em *kanji* quanto em *kana*. Contudo, os caracteres *kana* servem com frequência para a notação de palavras gra-

maticais e para as flexões gramaticais dos verbos, dos adjetivos e dos advérbios. Não é, pois, raro que um mesmo verbo seja escrito com a ajuda de uma mistura de caracteres *kanji* e *kana*.

A despeito dessas diferenças, minhas pesquisas demonstraram que o reconhecimento visual dos *kanji* e dos *kana* solicita, uma vez mais, a região occípito-temporal ventral (Figura 2.14). Nos dois casos, a ativação está com a lateralidade à esquerda, e seu pico se situa praticamente no mesmo ponto que entre os sujeitos franceses ou ingleses que leem uma escrita alfabética. Além do mais, a lesão nessa região entre os pacientes japoneses causa com frequência uma alexia pura, tanto em *kanji* quanto em *kana*[52].

Existem, contudo, algumas diferenças entre os circuitos cerebrais solicitados para essas notações, embora sejam muito modestas. A leitura das palavras escritas em *kana* ativa um pouco mais as regiões visuais precoces do polo occipital, talvez porque elas compreendam mais caracteres e se estendam um pouco mais sobre a retina. A leitura das palavras escritas em *kanji*, por seu turno, envolve um pouco mais a atividade na região visual ventral dos dois hemisférios, na direção da linha mediana do cérebro.

Outros estudos de imagem e de neuropsicologia confirmam que as redes respectivas da leitura em *kanji* e em *kana* não são exatamente idênticas. Acontece – raramente – que um paciente acometido por uma lesão cerebral ainda saiba ler uma das notações e não a outra[53]. É, pois, provável que no interior da mesma região geral, as notações diferentes façam apelo a micro-territórios corticais distintos que não podemos, no momento, separar com a resolução atual da IRM.

Numa escala mais grosseira, contudo, transparece a universalidade das bases cerebrais da leitura. Em todas as culturas, uma só região cerebral, a região occípito-temporal esquerda, aprende a reconhecer a forma visual das palavras, adaptando sua arquitetura hierárquica aos problemas específicos que coloca cada notação.

PARA ALÉM DA FORMA VISUAL DA PALAVRA

Acabamos de ver que uma região bem delimitada, a região occípito-temporal esquerda, joga um papel determinante e universal no reconhecimento das palavras escritas. Mas o que se passa depois desta etapa? Como acessamos o significado e a representação da sonoridade das palavras? Depois do reconhecimento visual, para onde caminha a leitura?

Caracteres *Kanji*

神	/kami/	Deus
神社	/jiN-já/	Templo
神経	/shiN-kei/	Nervo
精神	/sei-shiN/	Espírito
神主	/kaN-nushi/	Padre

Caracteres *Kana*

か	/kA/	
かみ	/kA-mi/	Papel
かさ	/a-ka/	Rubro
あか	/kA-sa/	Sombrinha
たから	/ta-ka-ra/	Tesouro

Rede global ativada

Hemisfério esquerdo

Hemisfério direito

Diferenças entre as notações

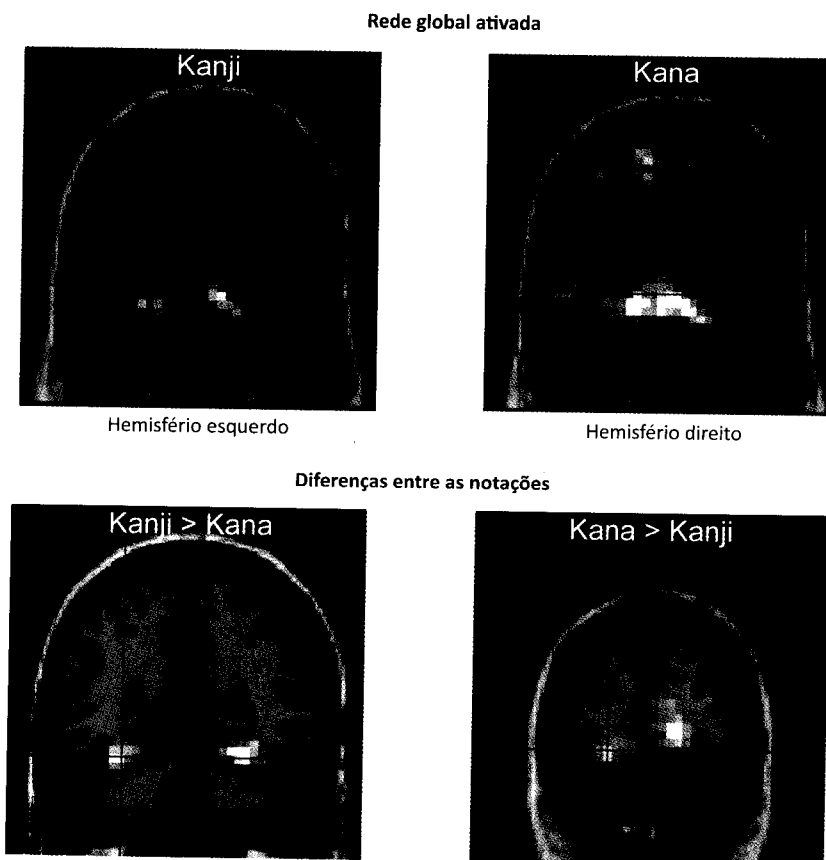



Figura 2.15 A mesma região occípito-temporal esquerda serve para a leitura do japonês e do francês. A escrita do japonês apela para dois sistemas radicalmente diferentes: os *kanji*, um jogo de pelo menos 3.000 caracteres que representam o significado das palavras (coluna à esquerda), e os *kana*, 46 símbolos que representam a pronúncia das sílabas (coluna à direita). A despeito dessas diferenças, todas essas notações apelam para a região occípito-temporal ventral esquerda, numa posição virtualmente idêntica à dos sujeitos franceses. Porém os *kanji* apelam um pouco mais às regiões visuais ventrais dos dois hemisférios, enquanto os kana causam um pouco mais de ativação do polo occipital (cf. Nakamura et al., 2005).

A anatomia cerebral clarifica as vias de projeção que propagam a ativação cerebral para além das áreas visuais. Graças à IRM de difusão, começamos a visualizar os grandes feixes de fibras que, no homem, religam as regiões do córtex. Assim, o feixe longitudinal inferior percorre o lobo temporal desde a região occipital mais posterior até o polo anterior, cuja cartografia acaba de ser realizada (Figura 2.16)[54]. Sua anatomia sugere que ele coleta as informações de diferentes regiões posteriores, dentre as quais a região occípito-temporal, envolvida no reconhecimento das palavras, e as envia bem adiante ao lobo temporal. Em paralelo a essa rodovia maior da informação cortical, outros feixes de fibras em U conectam, de forma igual, a regiões temporais a cada passo. Na medida em que todas essas fibras são envoltas por mielina, a velocidade de condução deve ser rápida. A informação sobre a identidade das palavras pode assim ser transferida muito rapidamente ao conjunto do lobo temporal.

Contudo a IRM não vê senão os feixes mais importantes do cérebro. Numerosas conexões, menos reagrupadas em cabos grossos, mas mesmo assim importantes sob o plano funcional, ainda lhe escapam. Um estudo anatômico *post mortem* demonstrou assim que, no homem, os neurônios do córtex temporal inferior estabeleciam conexões surpreendentemente distantes e bem mais dispersas que não o deixava suspeitar a pesquisa em outros primatas. Para visualizar esses axônios espalhados, que são muito pequenos para serem visíveis pela IRM, os pesquisadores tiveram que esperar por circunstâncias muito especiais. Um de seus pacientes foi vítima de um acidente vascular na região occípito-temporal direita e morreu três semanas mais tarde de outra enfermidade, legando seu cérebro para a pesquisa. Esse foi tratado com um reagente que se fixa sobre todas as terminações nervosas recém mortas, revelando, assim, todas as projeções nervosas diretamente provenientes da região lesada três semanas antes. Os resultados desse exame foram instrutivos: a região occípito-temporal direita envia múltiplas projeções em direção praticamente a todas as áreas corticais associativas, em particular, às áreas da linguagem verbal. Essas conexões não somente correm cerca de uma dezena de centímetros através do corpo caloso para alcançar o outro hemisfério do cérebro, mas elas se dispersam em seguida em leque. Sua densidade atinge um pico nas regiões da linguagem verbal, em particular, a área de Broca (córtex frontal inferior) e a área de Wernicke (parte posterior do córtex temporal superior). Por simetria, pode-se supor que a área do reconhecimento visual das palavras envia também projeções em direção às regiões corticais dos dois hemisférios.

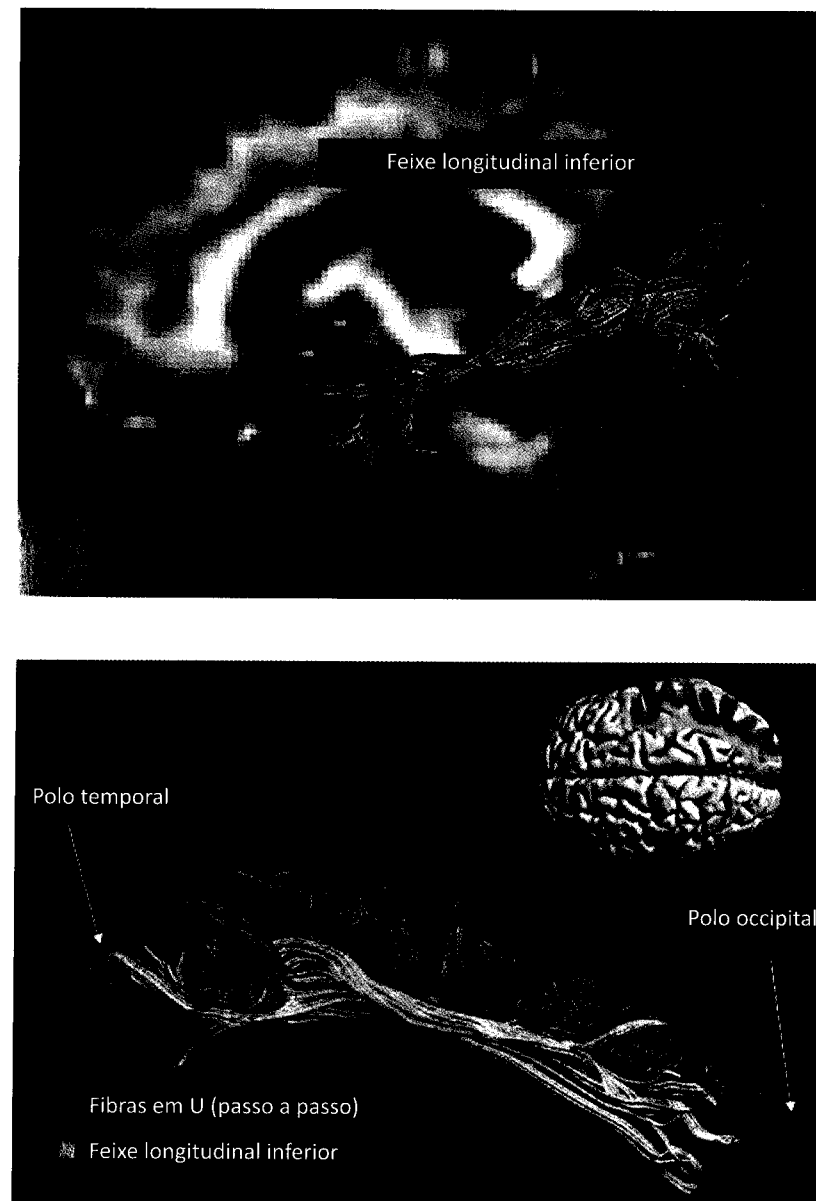



Figura 2.16 A região occípito-temporal esquerda, situada atrás do cérebro, analisa as palavras escritas e transmite os resultados às áreas da linguagem verbal pelo viés de vastos feixes de conexões, que começam a ser visualizados pela IRM de difusão. Vê-se aqui a reconstrução de uma grande via anatômica: o feixe longitudinal inferior, que se projeta para a parte anterior do lobo temporal. Numerosas fibras em U se projetam de forma igual, passo a passo, ao longo de toda superfície cortical (cf. Catani et al., 2003).

Esse estudo anatômico sugere, pois, que a região occípito-temporal age como um orientador essencial. Ela distribui de forma muito vasta a informação sobre a identidade dos objetos e das palavras e a envia simultaneamente a numerosas regiões corticais. Mas como verificar se essas conexões são bem funcionais? Podemos seguir de forma direta, milissegundo a milissegundo a transmissão da identidade das palavras ao resto do córtex? Ver, simplesmente, o conjunto do trajeto de uma palavra escrita desde a área visual primária até as regiões que codificam o som e o significado? Tal é o *tour de force* que conseguiram Ksenuja Marinkovic, Anders Dale, Eric Halgren e seus colegas de Boston[56].

Graças a uma máquina moderna de magnetoencefalografia, eles mensuraram os minúsculos campos magnéticos engendrados na superfície da cabeça quando os feixes corticais da leitura entram em atividade. Eles conceberam igualmente um novo algoritmo, capaz de extrair desses registros um filme das regiões corticais ativadas. Assim, visualizaram o decurso da atividade cerebral quando uma pessoa lê uma palavra (Figura 2.17). Embora se trate ainda de um modelo, a ser tomado com precaução, jamais se tinham obtido antes imagens tão realistas do trajeto cerebral das palavras.

A leitura começa no polo occipital, sede das representações visuais precoces. Em torno de 170 milissegundos, a ativação bascula em favor do hemisfério esquerdo, onde ela permanece restrita à região occípito-temporal ventral. Depois, é a explosão: em torno de 250 milissegundos, a atividade invade uma vasta porção dos dois lobos temporais, na região superior média e inferior. Em torno de 300 milissegundos, ela estende sua tarefa ao seio do hemisfério esquerdo, aí compreendido o polo temporal, a ínsula anterior e a região de Broca. Vê-se, em seguida, essa atividade se prolongar durante várias centenas de milissegundos, com a invasão de novas regiões frontais e um curioso retorno em direção às regiões visuais posteriores.

O que é necessário compreender bem é que, menos de um quarto de segundo depois do aparecimento da palavra na retina, as regiões ativadas não têm nada de específico à leitura. Todas se ativam muito tão bem tanto quando lemos quanto quando ouvimos as palavras faladas. Assim, a região occípito-temporal aparece como a última a ser implicada nas etapas estritamente visuais da leitura. Tudo o que se segue participa de encetar a ligação da palavra escrita com as representações do som e do significado que não são específicas da leitura, mas são igualmente utilizadas para a compreensão e para a produção da fala.

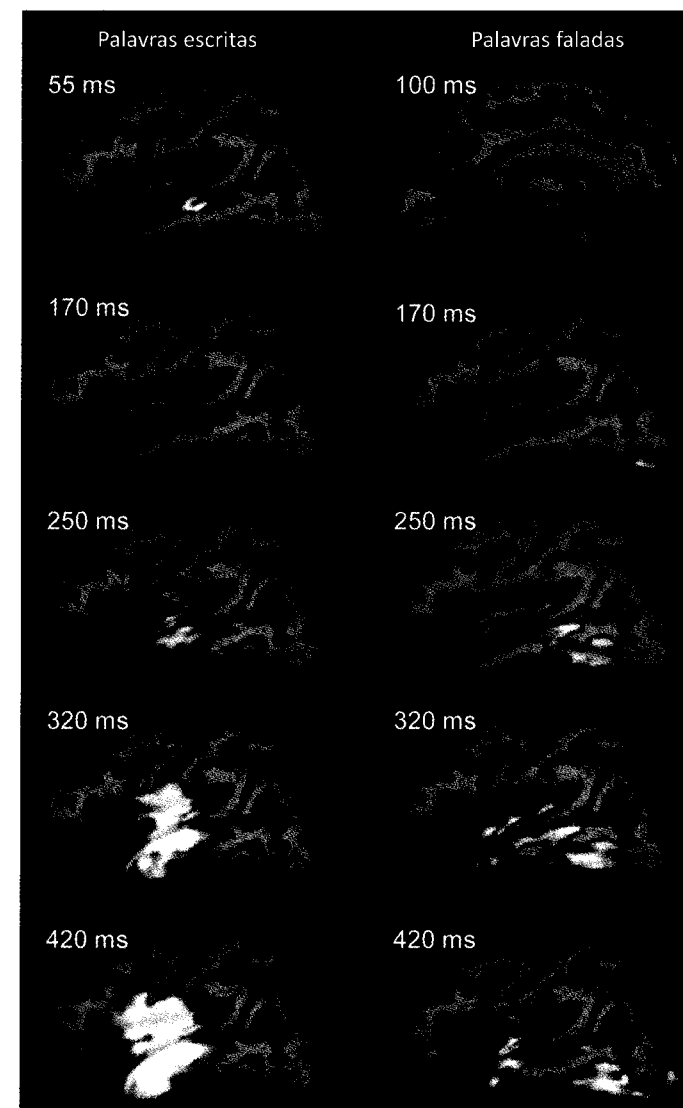



Figura 2.17 Conforme entendamos ou leiamos uma palavra, as vias de entradas no córtex diferem, mas a atividade converge em seguida em direção às mesmas áreas da linguagem. Cada imagem representa um instantâneo da atividade cerebral da superfície do córtex, tomada num momento diferente depois do aparecimento da palavra. Só o hemisfério esquerdo está representado. Durante a leitura, a ativação começa no polo occipital, em torno de 100 milissegundos, depois, em torno de 170 milissegundos, ela se estende até a região occípito-temporal esquerda, sede presumida da análise da forma visual da palavra. Sobrevém em seguida uma explosão de atividade nas múltiplas regiões temporais e frontais partilhadas com a audição das palavras (cf. Marinkovic et al., 2003).

OS FEIXES DO SOM E DO SIGNIFICADO

Lembremo-nos de que os psicólogos postulam duas vias da leitura:

- as palavras regulares e os neologismos são reconhecidos pela via da tradução das letras em sons (conversão grafema-fonema);
- as palavras frequentes ou irregulares são identificadas num léxico mental que permite o acesso à identidade e ao significado das palavras.

Podemos separar esses dois circuitos no cérebro? Correspondem a dois feixes bem distintos de áreas cerebrais? Toda uma série de trabalhos de imagem cerebral utilizou o modelo de duas vias da leitura a fim de efetuar uma primeira triagem entre as regiões cerebrais das imagens acústicas e do significado.

Um método simples consiste em examinar a atividade cerebral enquanto uma pessoa lê diferentes tipos de palavras. É o método "estímulo variável com tarefa constante". Pode-se, por exemplo, comparar a atividade cerebral evocada por palavras reais, como "cavalo", ou "carro", com aquela evocada por pseudopalavras, tais como "cataso", ou "gasso"[57]. Toda a diferença em favor das palavras revelará as regiões implicadas no léxico mental e a recuperação do significado das palavras. A diferença inversa – mais atividade para as pseudopalavras – revelará os feixes implicados na conversão grafema-fonema.

Experiências mais sutis permitirão precisar se as duas vias funcionam tal como predizem os estudos da psicologia experimental. A frequência das palavras modula a atividade cerebral? Conforme o modelo, as palavras frequentes são estocadas no léxico, mas as palavras raras como "astrolábio", ou "cálice" devem ser muitas vezes tratadas como pseudopalavras. Existem, do mesmo modo, diferenças entre palavras de pronúncia regular, como "padejo" (ato de padejar) e irregular como "muito"? As primeiras podem passar pela via da conversão grafema-fonema, enquanto as segundas não podem ser lidas corretamente a não ser na medida em que sejam identificadas de início como palavras no seio do léxico.

Um segundo método, complementar ao precedente, consiste em apresentar as mesmas listas de palavras, mas fazendo variar a tarefa que solicitamos aos participantes executar (método "estímulo constante e tarefa variável[58]"). Em um bloco de ensaios, pode-se, por exemplo, solicitar aos participantes julgar se as palavras apresentadas rimam ou não. Essa tarefa fonológica deverá ativar a via de conversão grafema-fonema. No decurso de outro bloco, pode-se pedir ao sujeito que julgue se essas palavras são sinônimas ou não – uma tarefa semântica que requer o acesso ao léxico mental e a atenção ao significado. Enfim, poder-se-á conceber uma tarefa ortográfica que consistirá, por exemplo, em julgar se duas palavras terminam pelas mesmas letras, seja qual for a pronúncia (por exemplo, "as aves", ou "ele fez uma vez" (no português, os melhores exemplos seriam com palavras em que os grafemas "e" e "o", ora representam as vogais fechadas, ora as abertas, dando-se então o comando para dizer se as duas primeiras letras da palavra são as mesmas em pares como "bolo"(subst.) e "bolo" (verbo). Em todos os casos é a atenção do sujeito, focalizada sobre esse ou aquele nível de tratamento das palavras, que amplificará a atividade cerebral e criará uma diferença detectável, enquanto o estímulo não muda.

Os resultados obtidos por esses dois meios se mostram extraordinariamente convergentes[59]. As duas vias de leitura postuladas pelos psicólogos correspondem bem a dois feixes distintos das áreas cerebrais (Figura 2.18). É, pois, legítimo falar de feixes cerebrais de representação do som e do significado.

A CONVERSÃO DAS LETRAS EM SONS

Comecemos pela decodificação das letras em sons. Mais precisamente, a via da decodificação grafema-fonema implica essencialmente as regiões superiores do lobo temporal esquerdo, as quais nós sabemos que são principalmente implicadas na análise da representação dos sons, notadamente, dos sons da fala, assim como o córtex frontal inferior e pré-central esquerdo, que intervêm na articulação. É no nível do lobo temporal que as letras vistas e os sons ouvidos se encontram. Serve de testemunho uma experiência muito simples ilustrada na Figura 2.19[60]. No decurso de uma experiência de IRM funcional, apresentamos, às vezes, letras isoladas, às vezes sons da fala isolados e às vezes os dois simultaneamente. Nesse último caso, a letras e o som podem ser congruentes (por exemplo, a letra "o" e o som [o]), ou incompatíveis (a letra "e" e o som [i]). Constata-se que toda uma parte do lobo temporal é ativada, diante da visão de uma letra. Contudo, só uma região superior do lobo temporal, conhecida sob o nome latino de *planum temporale*, reage à compatibilidade entre as letras e os sons: a escuta de um som compatível com a letra aumenta a atividade dessa região, enquanto um conflito entre a letra e o som se traduz por uma redução da atividade. Graças à magnetoencefalografia, pôde-se cronometrar esse efeito: a conversão dos grafemas em fonemas começa a partir de 225 milissegundos após o aparecimento da letra sobre a retina, e a compatibilidade é reconhecida após aproximadamente 400 milissegundos[61].

Tratamento visual precoce

Reconhecimento visual
Região occípito-temporal
-44, -58, -15

Acesso ao significado
Circunvolução temporal média -49, -54, 13
Região temporal basal -48, -41, -16
Circunvolução frontal inferior (parte triangular) -44, 23, 17

Conversão em representação dos sons
Circunvolução temporal superior -53, -13, 0
Circunvolução temporal média -63, -30, 4
Circunvolução temporal superior -37, -35, 12
Circunvolução supramarginal -53, -13, 0
Circunvolução frontal inferior (*pars opercularis*) -50, 10, 4
-44, 23, 17

Figura 2.18 As duas vias da leitura, que permitem o acesso à representação da sonoridade ou ao significado das palavras, ativam áreas cerebrais distintas. Conforme essa reanálise de dezenas de experiências, depois da análise visual da cadeia de letras (ao alto, à esquerda), dois grandes conjuntos de regiões anatômicas são implicados na decodificação do som e do significado (cf. Jobard et al., 2003).

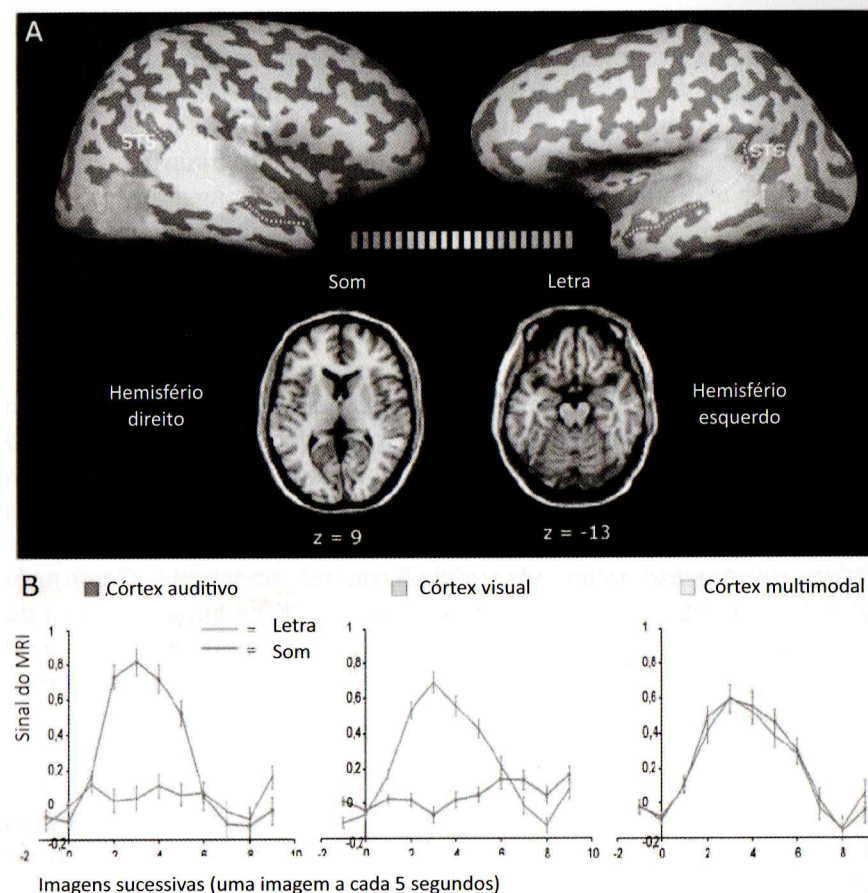



Figura 2.19 A região temporal superior intervém na conversão dos grafemas em fonemas. A imagem cerebral distingue facilmente as regiões visuais, ativadas pela visão de uma letra, e as regiões auditivas ativadas pela escuta de um som. Toda uma parte do córtex temporal superior, é multimodal, quer dizer que ela é ativada tanto pelo escrito quanto pelo oral (cf. Van Atteveld et al., 2004).

Detenhamo-nos por um instante nessa região do *planum temporale*, que codifica a sonoridade dos grafemas e das palavras, porque ela é, provavelmente, uma das áreas cerebrais mais importantes para o tratamento da língua falada. É uma região assimétrica: sua superfície é mais importante no hemisfério esquerdo que no hemisfério direito. Muitos pesquisadores concordam em visualizar nessa assimetria anatômica, presente mesmo antes do nascimento e cujos precursores existem em outros primatas, a origem da lateralização da linguagem no hemisfério esquerdo.

No bebê, o *planum temporale* já está ativado pela fala no hemisfério esquerdo desde os primeiros meses de vida[62]. Muito rapidamente, essa região aprende a prestar atenção aos sons pertinentes e a negligenciar aqueles que não serão úteis à língua[63].

Em virtude de permitir o encontro entre as informações visuais e auditivas, o *planum temporale* joga provavelmente um papel de cruzamento essencial na aprendizagem da leitura. Quando balbuciamos nosso b-a-ba, o *planum temporal* aprende progressivamente a reconhecer as correspondências entre a sonoridade e a aparência das letras. Quando adultos, os laços entre grafemas e fonemas se automatizam e tomam a forma de um verdadeiro reflexo de conversão das letras em imagens acústicas.

Outras regiões além do *planum temporale* intervêm na conversão das letras em imagens acústicas, mas os feixes que elas formam não são ainda bem conhecidos. No caso das letras isoladas, é possível que a região temporal superior seja contatada em linha direta a partir das áreas visuais. Contudo, a conversão das cadeias de letras mais complexas requer um tratamento serial, letra após letra, ou, ao menos, sílaba após sílaba. Isso faz intervir a região parietal inferior situada justo abaixo do *planum temporale*. Ela forma, provavelmente, com uma parte da área de Broca (a região opercular) um circuito que é ativado quando pronunciamos mentalmente as palavras[64]. Esse circuito participa de um arco articulatório interno, que utilizamos quando repetimos os sons de memória, por exemplo, para reter um número de telefone[65]. Essa memória tampão poderia jogar um papel essencial quando associamos a pronúncia de uma palavra a partir da sequência de suas letras – por exemplo, para decifrar sílaba após silaba, a fórmula da aspirina: ácido acetilsalicílico.

O ACESSO AO SIGNIFICADO

O feixe de regiões cerebrais que nos serve para analisar a significação das palavras é bem distinto. Não lhe representei senão alguns nós essenciais na Figura 2.18. Pouco importa, além do mais, sua posição anatômica precisa (atrás da circunvolução temporal média, a face ventral anterior do lobo temporal e a parte triangular da região frontal inferior). O que é necessário compreender bem é que nenhuma dessas regiões é específica em relação às palavras escritas: todas intervêm igualmente quando refletimos sobre as relações conceituais entre as palavras faladas[66], ou mesmo entre as imagens[67]. Assim elas são ativadas fortemente

num teste clássico de associações semânticas quando uma pessoa vê, por exemplo, uma palmeira, uma pirâmide e um martelo, e deve determinar quais imagens vão juntas. Essas regiões não têm nenhuma informação sobre a pronúncia das palavras correspondentes, mas elas "sabem" que a palmeira e a pirâmide pertencem ao mesmo campo semântico.

Uma das particularidades dessas áreas cerebrais do significado é a de serem ativadas antes mesmo que peçamos ao participante para efetuar um trabalho mental. A região temporoparietal posterior, notadamente, está já ativada no estado de repouso. Em geral, não a vemos se ativar em resposta às palavras escritas e faladas, mas ela se "desativa" abaixo de seu nível inicial, quando lhe apresentamos pseudopalavras desprovidas de significado[68]. Por que esse estranho perfil de resposta? Desde que acordamos, nosso cérebro gera uma incessante atividade que confere sentido ao mundo que nos rodeia. Essa reflexão interna ativa espontaneamente o feixe do tratamento semântico das palavras e das imagens – e essa é interrompida brevemente quando a cadeia de letras não tem significado. Nosso diálogo interior ativa as regiões que formam um espaço consciente e jamais permanece em verdadeiro repouso. A noção de um zero absoluto da atividade cerebral, em relação ao qual poderíamos facilmente identificar as ativações induzidas por estimulações exteriores não é senão uma ilusão.

A partir do momento em que abordemos as áreas cerebrais de alto nível de abstração, tais como as regiões associadas ao significado, não podemos, pois, negligenciar seu estado de atividade espontânea que flutua em permanência, independentemente do mundo exterior. Cumpre, então, inventar os meios indiretos para identificá-las. Um desses meios consiste em estudar sua sensibilidade à repetição: que regiões detectam que duas palavras têm o mesmo significado? Consideremos as palavras "face" e "rosto". As letras que as compõem não têm nada em comum, contudo elas têm praticamente o mesmo sentido. Joe Devlin e colaboradores[69] apresentaram sinônimos desta natureza numa experiência de gatilho ou detonação subliminal, em que a primeira palavra era inconsciente e só a segunda era visível. Uma região apenas parecia reconhecer a relação de significado: a região temporal média esquerda era menos ativa para responder aos sinônimos que aos pares de palavras sem ligação particular, tais como "mesa" e "rosto". Tudo se passava como se a região se ativasse mais longamente quando devesse codificar duas palavras de significados diferentes, enquanto para os sinônimos, ela não se ativava senão uma vez.

A experiência de Devlin e colaboradores desvelou, de maneira fina, como o cérebro passa das letras ao significado. A região occípito-temporal, como eu já ressaltei, não se interessa senão pela cadeia das letras. Assim, ela diminui a atividade desde que as palavras se assemelhem no plano visual (por exemplo, caçador/caça), mesmo se não tiverem nenhuma relação no nível do significado (por exemplo, mentor/menta) e não muda a atividade ao responder a sinônimos tais como face/rosto. Inversamente, a região temporal média não se interessa senão pelo significado das palavras. Ela diminui, pois, a atividade para face/rosto, bem como para caçador/caça – mas não quando não existe senão uma relação superficial do tipo mentor/menta entre as palavras apresentadas.

Outros estudos confirmam que essa região temporal média codifica os significados das palavras. Por exemplo, entre os leitores japoneses, ela é a única a reconhecer que uma mesma palavra está escrita em duas notações diferentes, em *kanji* e em *kana*, embora suas formas escritas não tenham nada em comum no plano visual[70]. A região temporal média é igualmente sensível à proximidade semântica das palavras faladas[71]. Assim, podemos, com razão, pensar que seu papel consiste em recuperar, no seio da memória semântica, os elementos do significado associados a cada palavra.

Não estamos, contudo, senão no balbucio da neurologia do significado. Muitas outras regiões cerebrais são ativadas quando refletimos sobre a mensagem que lemos. As regiões situadas mais à frente, na ponta do lobo temporal, parecem se interessar pelas combinações de significado que formam as palavras quando as combinamos nas frases[72]. A região frontal inferior parece jogar um papel essencial na seleção de um significado entre vários. Ela é ativada, pois, de modo muito especial, em coordenação com as regiões temporais, quando tentamos interpretar frases ambíguas[73].

No domínio do significado, a humildade se impõe porque ninguém, de momento, pode pretender ter um modelo neurológico preciso desse misterioso relâmpago de compreensão que faz com que a atividade de um feixe de neurônios, num instante, "produza sentido". Qual poderá ser o estado de excitação de todas essas regiões temporais e frontais, por exemplo, quando escutamos o humorista Raymond Devos nos narrar sua conversa com um hoteleiro à beira-mar:

– Onde está o mar?

– O mar... ele está desmontado!

– Quando vocês vão remontá-lo?

– É uma questão de tempo...

Sabemos, pelo menos, uma coisa, é que seria ingênuo pensar que o significado se limita a um pequeno número de regiões cerebrais. Pelo contrário, a semântica faz apelo a vastíssimas populações de neurônios, distribuídas por todas as regiões do córtex. As regiões frontais e temporais esquerdas, apresentadas na Figura 2.18, não são senão a face visível do feixe semântico. Certamente, elas são ativadas desde que uma pessoa efetue um trabalho conceitual. Contudo, sua função não pode ser a de recolher diretamente o significado das palavras, mas é, sobretudo, a de facilitar o acesso aos conhecimentos semânticos representados alhures, em regiões distantes do córtex. Elas funcionam como "zonas de convergência", para retomar a expressão do neurologista Antonio Damásio[74], que trocam os sinais com regiões cerebrais muito numerosas do córtex associativo. Elas recolheriam, assim, os fragmentos esparsos dos significados, e os associariam em feixes que constituiriam, falando propriamente, o sentido das palavras.

Consideremos, por exemplo, a palavra "morder". Como muitos verbos, ela faz referência a uma ação. Não saberíamos compreender o sentido dessa palavra sem pensar nas partes do corpo que ela mobiliza: a boca, os dentes, seu movimento tão específico, talvez, igualmente, o grito e a sensação de dor que resultam da mordida. Todos esses fragmentos de gestos, de movimentos, de sensações são reunidos sob a etiqueta "morder". Essa ligação funciona, além disso, nos dois sentidos: pronunciamos a palavra quando desejamos evocar essa conjunção particular de acontecimentos, e o fato de entender recria em nós esse formigamento de fragmentos de sentidos.

A região temporal lateral joga um papel essencial nessa mediação entre a forma das palavras e os elementos de sentido que elas evocam. Parece que ela se subdivide em múltiplas sub-regiões conforme a categoria particular das palavras que nós acessamos – rostos, pessoas, animais, instrumentos... Todas essas categorias estão associadas a territórios distintos, encarregados de colher os fragmentos de significado de origens diferentes, eles próprios repartidos alhures: na região parietal para os nomes ou partes do corpo, no córtex occipital para as cores, na região V5 para os movimentos, no córtex pré-central e parietal anterior para as ações e os gestos, na área 10 de Brodman para a interpretação das intenções e crenças de outrem, no polo temporal para os nomes próprios, etc.

Nos últimos vinte anos, essa visão iluminada da representação do significado no cérebro foi posta à prova, no início pela neuropsicologia, depois pela imagem cerebral. As lesões cerebrais mostram, ainda aqui,

velocidade das etapas essenciais à leitura[79]. Eu tinha que simplesmente registrar o eletroencefalograma de sujeitos anglófonos quando examinavam cadeias de letras. Algumas, tais como PGQLST, eram constituídas apenas de consoantes e violavam, pois, as regras ortográficas do inglês, no nível da própria forma da palavra. Outras formavam palavras que pertenciam a uma das quatro categorias: nomes comuns, nomes próprios, animais e verbos de ação.

Ao medir, milissegundo a milissegundo, a evolução da voltagem na superfície do escalpo, pude determinar quanto tempo levam as duas grandes etapas da leitura: o filtro visual, que não deixa passar senão as palavras bem formadas, sujeitas às regras da língua; e o filtro semântico, que orienta as palavras em função de seu significado e bloqueia as que não o possuem. A experiência mostrou que bastavam cerca de 180 milissegundos para que as cadeias de consoantes fossem distinguidas das palavras legais (etapa visual, ligada à região occípito-temporal ventral) e somente 80 milissegundos suplementares para que as outras quatro categorias de significado começassem a ativar os setores distintos do córtex. Assim, um quarto de segundo é suficiente para que a pororoca evocada por uma palavra chegue às primeiras margens do significado.

A magnetoencefalografia permite hoje ir mais longe do que minha experiência de então. Ela mostra a vaga de atividade cerebral, não mais somente do exterior, na superfície do escalpo, mas em profundidade, sobre o próprio córtex. Tornou-se possível realizar verdadeiros filmes de animação, nos quais seguimos, diminuindo a velocidade, a sucessão das regiões corticais contatadas por uma palavra. Panagiotis Simos e colaboradores da Universidade do Texas chegaram assim a retraçar o trajeto cerebral de palavras escolhidas para evocar percursos diferentes nos canais corticais. Pediram simplesmente aos voluntários que nomeassem em voz alta cadeias de letras que pertenciam a três categorias:

- Algumas eram pseudopalavras tais como "tracho" e "blos", que respeitam a ortografia da língua, mas são desprovidas de toda a significação. Para pronunciá-las, não é necessário senão utilizar a via de conversão grafema-fonema, que aplica, às cegas, as regras de pronúncia da respectiva língua. A rebentação deveria, pois, invadir as regiões temporais superiores associadas à pronúncia das palavras, mas não aquelas implicadas na representação de seu significado.
- Outras eram pseudo-homófonas, o que significa que se pronunciavam como palavras, mas eram escritas com uma ortografia anormal (por exemplo, "eceção", ou "oge"). Aqui, também, não se pode pronunciá-las senão utilizando a conversão grafema-fonema. Contudo, uma vez lidas, elas evocam um significado.
- Enfim, uma terceira categoria não compreendia senão palavras autênticas e frequentes, mas com pronúncia irregular, como "muito", "trouxe". Com essas, espera-se uma ordem de ativação inversa: é impossível recuperar diretamente a pronúncia, uma vez que elas não são regulares e não podem ser deduzidas da sequência de letras que compõem a palavra. É necessário de saída reconhecer a palavra antes de recuperar a pronúncia. A pororoca cerebral deveria, nesse caso, inundar de início as regiões do significado e depois as das imagens acústicas.

Os resultados foram conforme o modelo em todos os pontos. Até os 150 milissegundos, a atividade cerebral permaneceu confinada às regiões visuais occipitais, depois, ao redor de 200 milissegundos, ela invadiu a região occípito-temporal ventral esquerda, responsável pela análise visual da palavra. Nesse estágio, nenhuma diferença foi detectada entre as três categorias. Mas muito depressa elas passaram a divergir: as pseudo-homófonas e as pseudopalavras ativavam principalmente a região temporal superior e particularmente o *planum* temporal, sede das áreas auditivas e notadamente da pronúncia das imagens acústicas da língua. As palavras irregulares, por seu turno, ativavam a região temporal média, sede das "zonas de convergência" semânticas – somente em seguida elas davam lugar a uma segunda vaga de atividade nas áreas auditivas. As regiões semânticas não se ativavam quase nada quando se lhes apresentavam pseudopalavras desprovidas de significado. Ao contrário, elas se ativavam fortemente, embora mais tarde, quando se lhes apresentavam homófonos de palavras existentes, tais como "oge".

Assim, a imagem cerebral permite responder a uma das questões fundamentais da psicologia da leitura: deveremos pronunciar as palavras mentalmente antes de compreendê-las? Ou, pelo contrário, podemos passar diretamente das letras à significação das palavras sem que seja necessário recuperar a pronúncia?

Resposta: essas duas vias de leitura coexistem e se complementam. Conforme as palavras que lemos, a pororoca cerebral segue de preferência uma ou outra das rotas. As palavras frequentes ou irregulares acessam em linha direta as regiões semânticas do lobo temporal médio – na experiência de Simos: o tempo empregado pelos voluntários para pro-

nunciá-las foi, além disso, previsto pela latência com a qual essa região se ativava. Ao contrário, outras palavras, fossem elas raras, regulares, ou simplesmente desconhecidas, são pronunciadas mentalmente, de saída, nas áreas auditivas do lobo temporal superior, antes de serem eventualmente associadas ao significado – na experiência de Simos: sua velocidade de elocução foi, além disso, prevista pela latência de ativação das regiões auditivas.

A UNIDADE NA DIVERSIDADE

Como já compreendemos melhor as duas vias da leitura, a via fonológica e a via semântica, retornemos à questão das diferenças entre as línguas. Conforme expliquei no Capítulo 1, os sistemas de escrita diferem em sua "transparência ortográfica" (veja-se a Figura 2.20)[80]. A escrita de certas línguas, como o italiano e o português brasileiro é "transparente": as regras que permitem passar dos grafemas aos fonemas não sofrem praticamente nenhuma exceção. Basta, pois, aprender a pronunciar os valores de cada grafema e se sabe ler tão bem as palavras quanto os neologismos. Outras línguas são mais "opacas". Em inglês, por exemplo, a mesma sequência de letras "ough" pode ser pronunciada de forma muito diferente, conforme ela figure nas palavras "tough" = firme (pronunciada como [*taf*]) ou em "bough" = galho (pronunciada como [bau]). Não se pode, pois, fiar-se em aprender algumas regras de conversão grafema-fonema: para ler em voz alta, o leitor do inglês deve possuir um grande léxico mental e utilizá-lo a fim de recuperar a pronúncia das palavras. Há tantas exceções às regras de pronúncia que a memória das palavras deve ser constantemente solicitada.

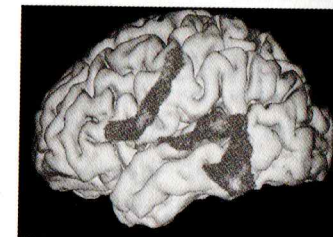
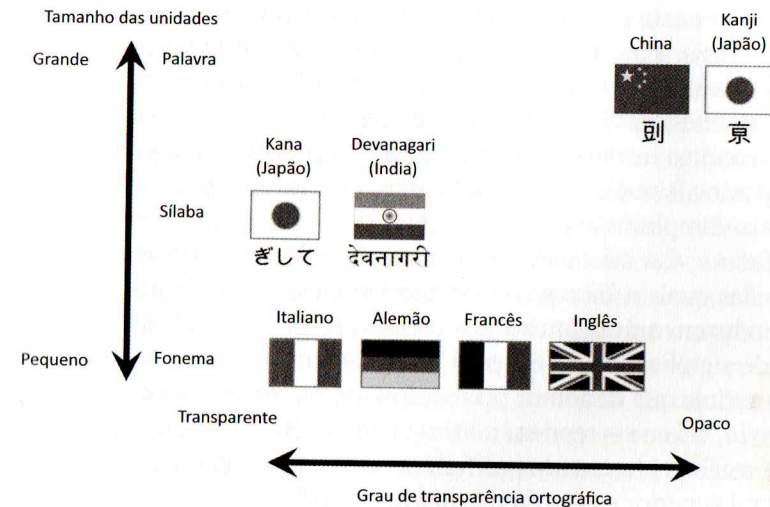
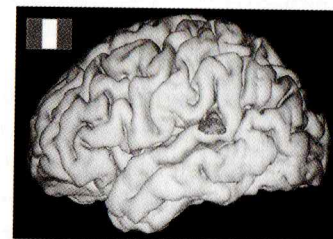
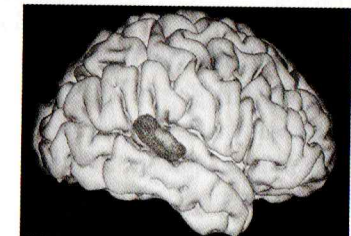
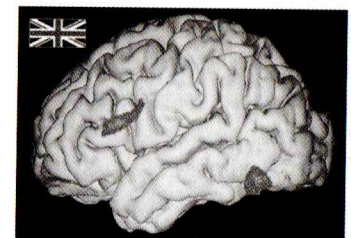
Os sistemas de escrita chinesa e japonesa se situam, evidentemente, num dos extremos desta escala de transparência. Nessas escritas, não existe praticamente alternativa senão aprender de cor os caracteres com sua pronúncia e significado. Somente subsistem, no chinês, algumas leis estatísticas que fazem com que tal marcador fonético se pronunciará frequentemente como [ma], outro como [ti], etc. Contudo, os marcadores fonéticos são tão numerosos que hesitaríamos falar em tal caso, de "regras' de conversão grafema-fonema. Trata-se mais da associação provável entre caracteres e sons, sem que nenhuma regra precisa governe sua construção.

Rede comum à leitura do italiano e do inglês

Ativação mais forte no italiano

Ativação mais forte no inglês

Figura 2.20 A transparência da ortografia influencia a organização do cérebro do leitor. As escritas se distinguem conforme o tamanho das unidades que elas denotam (fonema, sílaba ou palavra) e seu grau de transparência ortográfica, isto é, a regularidade da relação entre o escrito e o oral (ao alto). Se contrastarmos a leitura no italiano (e no português brasileiro), língua muito regular, com a no inglês, onde abundam as exceções, constatam-se pequenas modulações no seio de uma vasta rede de áreas cerebrais comuns (no centro): o italiano facilita o acesso direto às áreas auditivas do lobo temporal, enquanto o inglês solicita um pouco mais a região da forma visual das palavras e a região frontal inferior esquerda (cf. Pauleau et al., 2000).

Qual é o impacto dessas variações culturais sobre os circuitos da leitura? Uma vez mais, a impressão de unidade prevalece. A imagem cerebral indica que, se existem muitas diferenças entre os leitores do italiano, do inglês ou do japonês, essas diferenças não conduzem senão a modulações dos mesmos circuitos universais (Figura 2.20). As duas vias da leitura existem entre todos os leitores e, universalmente, elas fazem apelo às mesmas áreas cerebrais. Simplesmente, cada língua pondera com maior ou menor força o uso dessas vias diferentes. As escritas que denotam principalmente as palavras – das quais o *kanji* e os caracteres chineses fazem parte, evidentemente – conduzem a uma ativação superior das regiões implicadas na representação do significado (em especial, a região temporal posterior esquerda). Outras escritas que denotam principalmente os sons – as escritas alfabéticas, o *pinyin*, o *kana* – tendem a ativar mais diretamente as regiões auditivas, onde estão representados os fonemas da língua (particularmente a região temporal superior esquerda e o giro angular[81]).

A mesma diferença se encontra no seio das escritas alfabéticas[82]. O italiano, língua transparente, ativa um pouco mais fortemente as áreas auditivas do lobo temporal, sem dúvida porque a conversão dos grafemas em fonemas nele é mais direta. Ao contrário, o inglês, no qual a ortografia é opaca, ativa mais fortemente a região frontal inferior implicada na análise lexical e semântica das palavras. O inglês exige igualmente uma análise visual um pouco mais pronunciada da parte da região occípito-temporal esquerda. Sem dúvida, a extração da forma das palavras nela é mais complexa: onde o leitor do italiano se contentar em identificar a sucessão das letras e passar diretamente à realização dos fonemas, o do inglês deve codificar o contexto de cada letra a fim de reconhecer os grafemas complexos tais como "ou", "gh" ou "ing" para poder conseguir certa conversão em fonemas.

Num certo sentido, essas diferenças entre línguas não são senão formas exacerbadas das diferenças que existem no seio de uma língua tal como o francês, entre as palavras regulares e as palavras irregulares. Quando lemos uma palavra tal como "chœur" [kœr], nossa atividade cerebral se parece com a de um leitor do inglês: nós amplificamos o uso da via léxico-semântica, o que nos permite reconhecer que, no contexto particular dessa palavra, "ch" se pronuncia como [k] e que a letra "o" não se pronuncia. O mesmo acontece para o leitor brasileiro diante da palavra "fixo", em que o grafema "x" é lido por muitos como [ks] e por outros como [kis]. Inversamente, quando lemos uma palavra regular ou nova, como "ácido acetilsalicílico", nós nos apoiamos na via de conversão grafema-fonema que passa pelo lobo temporal superior, como o faria um leitor do italiano.

Assim, podemos concluir com a unidade fundamental dos circuitos da leitura. As redes cerebrais da leitura constituem uma invariante antropológica que faz parte integrante da natureza humana. Para além da diversidade das regras particulares de transcrição dos fonemas, todos os leitores apelam para a mesma rede anatômica das regiões cerebrais. Um caractere chinês ou uma sequência de letras hebraicas sujeitam-se ao mesmo tratamento cerebral. Depois de um pré-tratamento visual, os caracteres escritos são canalizados às regiões ventrais do lobo temporal esquerdo, onde eles são reconhecidos independentemente de sua forma, de seu tamanho e de sua posição. Depois, essa informação visual invariante é enviada a dois circuitos principais, um que os converte em imagens acústicas, outro que recupera o significado. Essas duas vias trabalham em paralelo, e uma interage alternativamente com a outra em função da regularidade da palavra e da língua na qual ela é escrita.

OS PARADOXOS DA UNIVERSALIDADE

A universalidade das regiões cerebrais implicadas na leitura não faz senão colocar com mais acuidade o paradoxo de sua evolução. Como nosso cérebro adquire os circuitos especializados para a leitura? Por que a mesma região, com alguns milímetros aproximadamente, está sempre implicada no reconhecimento visual das palavras? Como ocorre que essa região disponha precisamente das competências necessárias à leitura? Invariância espacial, capacidade de aprender a forma das letras, conexões ao longo das múltiplas áreas da linguagem? Todas essas propriedades não implicam que nosso cérebro esteja predisposto para a leitura?

Tudo o que sabemos sobre a história da escrita, contudo, infirma essa hipótese. A invenção da escrita é muito recente para que nosso genoma a ela se tenha adaptado. No decurso de centenas de milhares de anos que acompanharam a longa caminhada da espécie, nosso cérebro se adaptou à linguagem e à socialização – mas não à leitura, que não data senão de alguns milhares de anos.

Se nós lemos com um sistema visual antigo, essencialmente um cérebro de primata, é, pois, em direção a ele que é necessário orientar no momento nossas pesquisas. Entre nossos primos primatas, para o que servem as regiões cerebrais que dedicamos à leitura? E como sua função inicial pôde se desviar em proveito de uma atividade tão nova quanto o reconhecimento das palavras escritas?

NOTAS

1 Déjerine, 1892; todas as citações que seguem foram retiradas do texto fundador da neuropsicologia da leitura.
2 Warrington & Shallice, 1980; Patterson & Kay, 1982; Montant & Behrmann, 2000.
3 Cohen & Dehaene, 1995, 2000; Gaillard et al. 2006.
4 Patterson & Kay, 1982; Hanley & Kay, 1996.
5 Miozzo & Caramaza, 1998.
6 Fizet et al., (2005) matizam esse propósito, sugerindo que, quando se controla a facilidade com a qual as letras podem ser distinguidas umas das outras, os pacientes não levam mais tempo para ler as palavras longas do que as palavras curtas. Assim, o déficit dos pacientes poderia se explicar pela perda de um código neural aprendido, cujo papel essencial é o de amplificar as pequenas diferenças entre as letras. A lesão dessa região aumentaria a semelhança entre as letras (para quem não lê o chinês, todos os caracteres se assemelham). Acima de certo limiar, essa semelhança acrescida forçaria o paciente a examinar as letras uma a uma, cuidadosamente. Assim, na alexia pura, o reconhecimento paralelo das palavras não seria totalmente abolido, mas somente deteriorado (Arguin, Fiset & Bub, 2002). A existência de um tratamento paralelo residual poderia explicar o fenômeno da "leitura implícita", quando certos pacientes se mostram capazes de classificar em função de seu significado, as palavras que eles não conseguem mais ler em voz alta (Coslett & Saffran, 1989; Coslett, Saffran, Greenbaum & Schwartz, 1993). Contudo, poderia igualmente ser que essas competências sejam obra do hemisfério direito, que permanece intacto (Coslett & Monsul, 1994; Cohen et al., 2003).
7 Vários esquemas anatômicos de referência precisam a localização dessas regiões no espaço do cérebro em P2.
8 Cohen et al., 2003; o livro de Laurent Cohen *L'Homme thermomètre*, constitui uma excelente introdução aos problemas do reconhecimento visual.
9 Damasio & Damasio, 1983; Binder & Mohr, 1992; Leff et al., 2001.
10 Leff et al., 2001.
11 Cohen et al., 2000; Cohen et al., 2002; Dehaene, et al., 2001, 2002; Gaillard et al. 2006. A pertinência dessa denominação permanece ainda em debate (vejam-se Price & Devlin, 2003; Cohen & Dehaene, 2004).
12 Para exemplos vejam-se Cohen et al., 2003 e sua bibliografia.
13 Geschwind, 1965.
14 Petersen, Fox, Posner, Mintun & Raichle, 1988; vejam-se, igualmente, Posner, Petersen, Fox & Raichle, 1988; Petersen, Fox, Posner, Mintun & Raichle, 1989; Petersen, Fox, Snyder & Raichle, 1990.
15 Dehaene et al., 2002.
16 Cohen et al., 2000.
17 Discerne-se na Figura 2.5 uma forma de variabilidade: embora todas as pessoas estudadas ativem a região temporal inferior do hemisfério esquerdo, somente algumas dentre elas ativam igualmente a região homóloga do hemisfério direito. A fonte dessa variabilidade não está ainda bem compreendida, mas pode ser que ela prediga, em caso de lesão à esquerda, em que medida a pessoa conseguirá recuperar progressivamente certas capacidades da leitura (Cohen, Henry et al., 2004).

18 Hasson, Levy, Behrmann, Hendler & Malach, 2002.
19 Dehaene et al., 2002; Cohen, Jobert, Le Bihan & Dehaene, 2004.
20 Both et al., 2002; Cohen, Jobert et al., 2004.
21 Tokunaga et al., 1999; Nakamura et al., 2000.
22 Burton, Small & Blumstein, 2000.
23 Ishai, Ungerleider, Martin, Schouten & Haxby, 1999; Haxby, Ishai, Chao, Ungerleider & Martin, 2000; Ishai, Ungerleider, Martin & Haxby, 2000; Haxby et al., 2001; Levy, Hasson, Avidan, Hendler & Malach, 2001; Hasson et al., 2002; Malach, Levy & Hasson, 2002; Hasson, Harel, Levy & Malach, 2003.
24 Puce, Allison, Asgari, Gore & McCarthy, 1996.
25 Haxby et al., 2001; Grill-Spector, Sayres & Ress, 2006.
26 Grill-Spector et al., 2006.
27 Tsao, Freiwald, Tootell & Livingstone, 2006.
27ª Femtofard, unidade de medida de capacitância, igual a 10-15 farad (Unidade de capacitância do Sistema Internacional, igual à capacitância de um elemento passivo de um circuito entre cujos terminais se manifesta uma tensão constante igual a um volt, quando carregado com uma quantidade de eletricidade invariável igual a um coulomb [símb.: F]).
28 Tarkiainen, Helenius, Hansen, Cornelissen & Salmelin, 1999; Tarkiainen, Cornelissen & Salmelin, 2002.
29 Allison, McCarthy, Nobre, Puce & Belger, 1994; Nobre, Allison & McCarthy, 1994; Allison, Puce, Spencer & McCarthy, 1999. Vejam-se igualmente Gaillard et al., 2006.
30 Kanwisher, McDermott & Chun, 1997.
31 Cohen et al., 2000.
32 McCandliss, Corran & Posner, 1993.
33 Cohen et al., 2000; Molko et al., 2002.
34 Ellis *et cols.* 1988; Cohen et al., 2000; Ellis, 2004. A transferência inter-hemisférica não é senão um dos fatores que contribui para a vantagem do hemicampo direito para a leitura (veja-se Brysbaert, 1944). A direção da leitura da esquerda para a direita em nosso país joga, igualmente, um papel importante porque conduz a propiciar uma preparação particular para o reconhecimento visual das letras no hemicampo direito (Nazir, Ben-Boutayab, Decoppet, Deutsch & Frost, 2004).
35 Molko et al., 2002.
36 Le Bihan, Uraama, Aso, Hanakawa & Fukuyama, 2006.
37 Polk & Farah, 2002.
38 Grill-Spector & Malach, 2001; Naccache & Dehaene, 2001.
39 Dehaene et al., 2001.
40 Dehaene et al., 2004.
41 Delvin, Jamison, Mathews & Gonnerman, 2004.
42 O livro *Le Nouvel Inconscient* de Lionel Naccache fornece uma excelente introdução aos dados mais recentes sobre a extensão dos processos subliminais no cérebro.
43 Dehaene et al., 2004.
44 Vejam-se, por exemplo, Price, Wise & Frackowiak, 1996; Büchel, Price & Friston, 1998; Cohen et al., 2002; Dehaene et al., 2002; Polk & Farah, 2002. Todos esses artigos mostraram que a região visual ventral se ativa menos em presença de cadeias de consoantes do que diante de palavras e pseudopalavras. Esse resultado se obtém

facilmente contanto que os participantes efetuem uma tarefa simples, por exemplo, detectar a presença de uma letra descendente como p ou g, ou simplesmente olhar passivamente os estímulos. É crucial, contudo, não solicitar aos participantes a execução de uma tarefa difícil, tal como memorizar os estímulos ou detectar a repetição. Nesse caso, a tarefa é, com frequência, mais difícil para as cadeias de consoantes do que para as palavras, e o resultado pode se inverter (vejam-se, por exemplo, Tagamets, Novick, Chalmers & Fridman, 2000).
45 Polk et al., 2002.
46 Dehaene, 1995; Bentin, Mouchetant-Rostaing, Giard, Echallier & Pernier, 1999; Tarkianien et al., 1999; Pinel, Dehaene, Riviere & Le Bihan, 2001.
47 Vejam-se Tan et al., 2000; Kuo et al., 2001; Kuo et al., 2003; Lee et al., 2004. Contudo, em comparação com a leitura do inglês, algumas outras regiões, dentre as quais o lobo parietal direito e a região frontal média esquerda, se ativam mais quando da leitura dos careteres chineses (Tan et al., 2001; Siok, Perfetti, Jin & Tan, 2004). Essas regiões intervêm sobre a atenção visuoespacial da motricidade, que poderia jogar um papel mais importante no chinês, no qual o leitor retraça mentalmente a configuração espacial dos caracteres.
48 Chen, Fu, Iversen, Smith & Mathews, 2002; Fu, Chen, Smith, Iversen & Mathews, 2002. Conforme os estudos, vê-se, às vezes, um pouco mais de atividade para os caracteres chineses, sem dúvida, porque eles são o objeto de uma aprendizagem mais demorada e se tornam mais familiares que a escrita pinyin.
49 Kuo et al., 2001.
50 Ding, Peng & Taft, 2004.
51 Nakamura, Dehaene, Jobert, Le Bihan & Kouider, 2005. Vejam-se, igualmente, Ha Duy Thuy et al., 2004 e, na magneto-encefalografia, Koyama, Kakigi, Hoshiyama & Kitamura, 1998. A leitura foi igualmente estudada no coreano, com resultados similares (LEE, 2004).
52 Sakurai, Takeuchi et al., 2000.
53 Sasanuma, 1975; Sakurai, Momose et al., 2000; Sakurai, Takeuchi et al., 2000; Sakurai, Ichikawa & Mannen, 2001.
54 Catani, Jones, Donato & Ffytche, 2003.
55 Di Virgilio & Clàrke, 1997.
56 Marinkovic et al. 2003; vejam-se, igualmente, Pammer et al., 2004, para os dados globalmente similares, mas que sugerem, contudo, uma extensão precoce e súbita da atividade da região frontal inferior do hemisfério esquerdo.
57 Fiez, Balota, Raichle & Petersen, 1999; Hagoort et al., 1999; Tagamets et al., 2000; Bokde, Tagamets, Friedman & Horwitz, 2001; Xu et al., 2001; Cohen et al., 2002; Fiebach, Friederici, Muller & von Cramon, 2002, 2002; Simos, Breier et al., 2002; Binder et al., 2003.
58 Pugh et al., 1996; Price, Moore, Humphreys & Wise, 1997; Friederici, Opitz & von Cramon, 2000; Booth et al., 2002; Cohen, Jobert et al., 2004.
59 Para uma recensão de trabalhos recentes, vejam-se Fiez & Petersen, 1998; Price, 1998; Jobard, Crivello & Tzourio-Mazoyer, 2003; Mechelli, Gorno-Tempini & Price, 2003; Price et al., 2003.
60 van Atteveldt, Formisano, Goebel & Blomert, 2004.
61 Raij, Uutela & Hari, 2000.

62 Dehaene-Lambertz & Dehaene, 1994; Dehaene-Lambertz & Baillet, 1998; Dehaene-Lambertz, Dehaene & Hertz-Pannier, 2002.
63 Dehaene-Lambertz, 1997; Naatanen et al., 1997; Cheour et al., 1998, Jacquemot, Pallier, Le Bihan, Dehane & Dupoux, 2003.
64 Simon, Mangin, Cohen, Le Bihan & Dehaene, 2002.
65 Paulesu, Frith & Frackowiak, 1993.
66 Binder et al., 1999; Binder et al., 2000; Kotz, Cappa, von Cramon & Friederici, 2002.
67 Vandenberghe, Price, Wise, Josephs & Frackowiak, 1996.
68 Binder et al., 1999; Cohen et al., 2003.
69 Devlin et al., 2004.
70 Nakamura et al., 2005.
71 Rissman, Eliassen & Blumstein, 2003.
72 Mazoyer et al., 1993; Price et al., 1997; Vandenberghe, Nobre & Price, 2022.
73 Thompson-Schill, D'Esposito & Kan, 1999; Rodd, Davis & Johnsrude, 2005.
74 Damasio, 1989b, 1989a.
75 Warrington & Shallice, 1984; Caramazza & Hillis, 1991; Caramazza, 1996, 1998; Shelton, Fouch & Caramazza, 1998.
76 Damasio, Grabowski, Tranel, Hichwa & Damasio, 1996; Grabowski, Damasio & Damasio, 1998.
77 Martin, Wiggs, Ungerleider & Haxby, 1996; Chao, Haxby & Martin, 1999; Beauchamp, Lee, Argall & Martin, 2004.
78 Pulvermller, 2005.
79 Dehaene, 1995,
80 Wydell & Butterworth, 1999.
81 Chen et al., 2002; Fu et al., 2002.
82 Paulesu et al., 2000.

3

Os neurônios da leitura

Como as palavras escritas são representadas a nível neuronal? O homem é um primata (quase) como os outros. A leitura faz apelo aos mecanismos neuronais da visão, que mudaram muito pouco no decurso de nossa evolução. O córtex temporal inferior do macaco abriga uma hierarquia de neurônios que respondem a fragmentos de cenas visuais. Coletivamente, as preferências desses neurônios formam um alfabeto de formas elementares, cujas combinações são capazes de representar seja qual for o objeto. Certos neurônios respondem, mesmo, a formas próximas às das letras (T, Y, L), que se pode demonstrar constituem as invariâncias úteis ao reconhecimento dos contornos dos objetos. De acordo com a hipótese da "reciclagem neuronal", quando aprendemos a ler, uma parte desta hierarquia neuronal se reconverte a fim de reconhecer a forma das letras e das palavras.

O homem em sua arrogância se crê uma obra-prima, digna da intervenção de um deus. É mais humilde e, a meu ver, mais verdadeiro, considerá-lo como criado a partir dos animais.

Charles Darwin, *Carnets*, 1838

Não posso engolir a ideia de que o homem seja tão distinto do chimpanzé quanto o ornitorrinco do cavalo; eu bem me pergunto o que diria o chimpanzé!

Charles Darwin, *Lettre à Huxley*, 1863

Ninguém melhor do que Charles Darwin defendeu a ideia de uma filiação das competências cognitivas humanas na evolução. Desde o final do século XIX, em seus livros *La filiation de l' homme* (1871) e *L' Expression*

des émotions chez l' homme et les animaux (1872), Darwin tinha coletado centenas de observações que sugeriam que um bom número de nossos comportamentos tinha origem no animal. Mesmo a linguagem, afirmava ele, não escapa desta regra: "O homem tem uma tendência instintiva para falar, como se vê no balbucio das criancinhas".

Quando se tratava de compreender as faculdades intelectuais superiores, Darwin não fazia mistério: são os primatas, afirmava ele, e notadamente os chimpanzés, que detêm o segredo de nossas origens. Muito cedo, as hipóteses de Darwin inspiraram um vasto programa de pesquisa, ainda atual, cujo objetivo é a comparação sistemática entre o cérebro do homem e o dos outros primatas.

O programa de Darwin se aplica à leitura? Tal é a aposta que faço em minhas pesquisas: não se compreenderão os circuitos da leitura senão aproximando-os às redes de neurônios que, nos outros primatas, servem à visão. Essas redes não são fundamentalmente diferentes no homem. Mas nós as reciclamos com vistas a outro uso. A aprendizagem da leitura faz o novo com o velho. As mesmas regiões se põem à obra quando lemos e quando reconhecemos um objeto – certos territórios simplesmente se especializaram para a forma específica das letras e das palavras.

Retracemos, pois, juntos como um século de pesquisas desmontou os mecanismos da visão nos primatas. Encontraremos aí o segredo da leitura? Possuímos os neurônios especializados para as letras, sílabas ou palavras? Que tipo de código neural se inscreve em nosso córtex quando aprendemos a ler?

O MACACO, O HOMEM E A LEITURA

Nos anos de 1930, em Chicago, o especialista do comportamento Heinrich Klüver e o neurocirurgião Paul Bucy se associaram a fim de explorar as consequências da ablação do lobo temporal no macaco[1]. Depois de uma lesão bilateral, os primatas desenvolvem um conjunto de sintomas hoje conhecidos sob o nome de "síndrome de Klüver-Bucy", que se caracteriza por mudanças maciças e complexas do comportamento visual, alimentar, social e sexual. Esses animais se comportam como se não reconhecessem mais nem seus congêneres, nem os objetos que os rodeiam. Eles tentam ingerir ou copular com os objetos os mais incongruentes – uma forma de cegueira que Klüver e Bucy, seguindo o neurologista Heinrich Lissauer (1890), denominaram de "cegueira psíquica".

Na realidade, os animais não são cegos diante da luz, mas não reconhecem mais as formas visuais.

Alguns decênios mais tarde, os neurofisiologistas americanos Karl Pribram e Mortimer Mishkin precisam as regiões cerebrais que estão na origem dos aspetos da síndrome de Klüver-Bucy[2]. Eles descobrem que a cegueira psíquica resulta de lesões bilaterais na região temporal (Figura 3.1). Os macacos afetados não conseguem mais discriminar os objetos. Assim, não conseguem aprender que um pedaço de comida está sempre escondido sob um cubo vermelho e jamais sob uma esfera listrada de verde. Depois de centenas de ensaios de treinamento, eles continuam a escolher ao azar entre esses dois objetos. Contudo, os animais não são cegos: eles se deslocam normalmente, conseguem descobrir a posição dos objetos e agarrá-los.

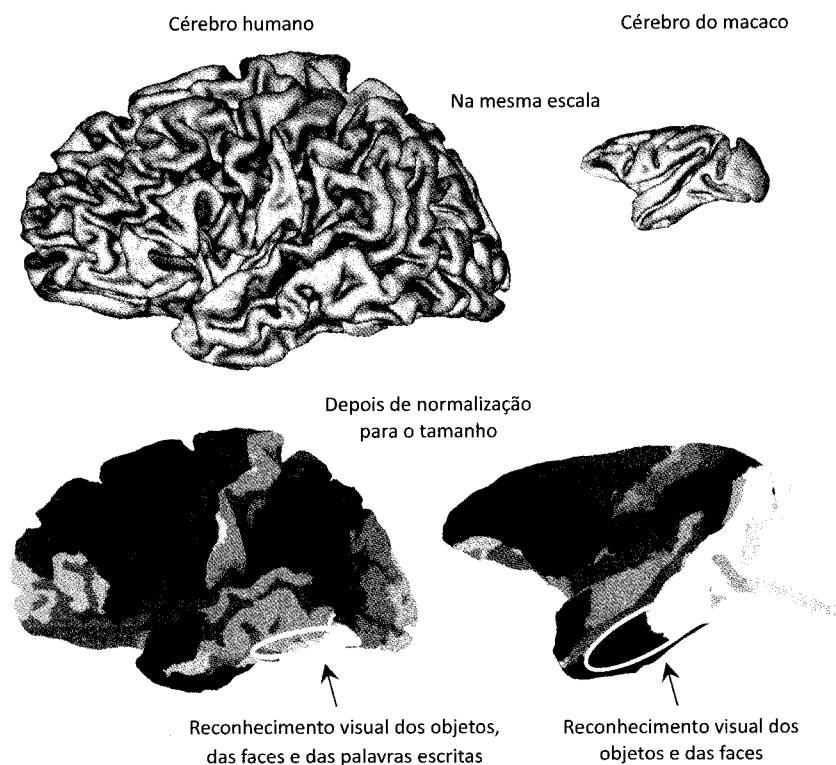



Figura 3.1 A região associada ao reconhecimento visual das palavras no homem faz parte do córtex occipito-temporal inferior que está implicado, em todos os primatas, no reconhecimento dos objetos e das faces. Apesar de uma enorme diferença de superfície cortical (ao alto), existem numerosas semelhanças entre a organização celular das camadas do córtex do cérebro humano e a do macaco, que permitem delimitar regiões similares (embaixo, regiões circuladas).

Desde 1890, Lissauer descreveu um comportamento similar no homem. Ele havia observado que certos pacientes, após um acidente vascular na região temporal, não conseguiam reconhecer os objetos, mesmo se sua acuidade visual fosse normal e se eles conseguissem manipulá-los convenientemente[3]. Esse déficit, que ele denominou de "cegueira psíquica", ou "agnosia visual", já sugeria que o reconhecimento visual dos objetos passa por vias específicas, tanto no homem quanto nos outros primatas.

No homem, as regiões temporais responsáveis pelo reconhecimento dos objetos ocupam a face ventral do cérebro. No macaco, elas ocupam a face lateral do lobo temporal, estendendo-se em direção da sua ponta anterior (Figura 3.1). Em comparação com o do macaco, o cérebro humano parece ter passado por uma importante expansão da maior parte das regiões associativas do córtex e, notadamente, da região anterior e lateral associada, no hemisfério esquerdo, ao tratamento da linguagem falada e das redes semânticas.

Mesmo que esta expansão pareça ter puxado os processos de reconhecimento visual para baixo e para trás do cérebro, reconhece-se, ainda, uma homologia entre nosso cérebro e o de outros primatas. Examinando-se a organização microscópica do córtex e, em particular, a repartição dos corpos celulares e as várias "camadas", o anatomista Korbinian Brodmann propôs, em 1910, uma subdivisão das áreas cerebrais que goza sempre de autoridade. Ele mostrou que as mesmas áreas se encontram, com certa deformação, no homem e no macaco. Em especial, as mesmas áreas intervêm no reconhecimento visual, nas duas espécies. Brodmann as numerou: trata-se da área 20 e da área 37.

Ora, a ativação observada no homem durante a leitura se situa na área 37 de Brodmann. Dito de outra forma, ela não aterrissa numa região arbitrária, cuja função passada nada tivesse em comum com essa atividade cultural recente. A leitura não faz apelo a uma área cerebral nova. Ao contrário, o reconhecimento das palavras escritas repousa sobre uma região altamente evoluída, cuja especialidade, desde milhões de anos, é a identificação visual dos objetos – aquela mesma cuja lesão criou a "cegueira psíquica" de Lissauer e de Klüver e Bucy.

OS NEURÔNIOS ESPECIALIZADOS PARA OS OBJETOS

Quais são as outras propriedades essenciais à leitura, tais como a invariância para o tamanho ou a posição das palavras? São igualmente herdadas de nossa evolução? Podemos encontrar-lhes um precursor no macaco?

Quando reconhecemos um objeto, pouco importa que ele esteja longe, ou perto, à direita, ou à esquerda, inclinado, ou reto, iluminado, ou à sombra: é essencial que cheguemos a reconhecer sua identidade, sejam quais forem sua iluminação, sua orientação, sua distância ou sua posição. No curso da evolução, uma forte pressão de seleção teve, pois, que se exercer a fim de melhorar a invariância para o reconhecimento dos objetos.

Sabemos atualmente que esta invariância é uma função essencial do lobo temporal. Os macacos atingidos por lesões temporais inferiores não dominam mais esta invariância. Se aprenderem, bem ou mal, a reconhecer uma forma, eles não a generalizam a condições novas de iluminação, de tamanho ou de posição[4]. De fato, um objeto iluminado sob dois ângulos diferentes, ou apresentado à direita ou à esquerda da retina, projeta uma imagem na retina inteiramente diferente. A informação visual deverá ser enviada em direção às regiões cerebrais comuns, antes que possamos reconhecer a invariância do objeto. Os efeitos das lesões indicam que a região temporal inferior joga um papel crucial nesta coleta de informações visuais invariantes. Quando esta região é lesionada, o macaco vê manchas coloridas e de luz, mas não consegue reconhecer de qual objeto se trata.

Mais recentemente, o registro de neurônios únicos no macaco acordado permitiu por diretamente em evidência o código neural dos objetos visuais. Desde o final de 1960, David Hubel e Torsten Wiesel registram neurônios sensíveis a traços elementares, na área visual primária do gato, plantando, assim, os marcos pioneiros do trabalho que lhes valeu o prêmio Nobel de 1982. Em continuidade, nos anos 1970 e 1980, outros eletrofisiologistas (Robert Desimone, Charles Gross, David Perrett, Keiji Tanaka) colocam seus eletrodos mais à frente no córtex do macaco[5]. A fim de caracterizar as respostas dos neurônios inferotemporais, eles reúnem uma impressionante biblioteca de imagens, de formas, de faces e de objetos os mais diversos, que eles apresentam sucessivamente ao animal enquanto um eletrodo intracortical registra as taxas de descarga dos neurônios.

Revela-se, então, uma surpreendente seletividade. Não é raro que um neurônio não responda senão a uma só face, ou a um só objeto entre várias dezenas. O neurônio da Figura 3.2, por exemplo, não responde senão à vista de uma cadeira e permanece silencioso diante da apresentação de dezenas de outros objetos. Esta seletividade é ainda mais notável porque vem acompanhada de uma forte invariância. Diferentemente dos neurônios da área primária, que não possuem senão uma janela estreita de visão sobre a retina, o campo receptor dos neurônios do córtex

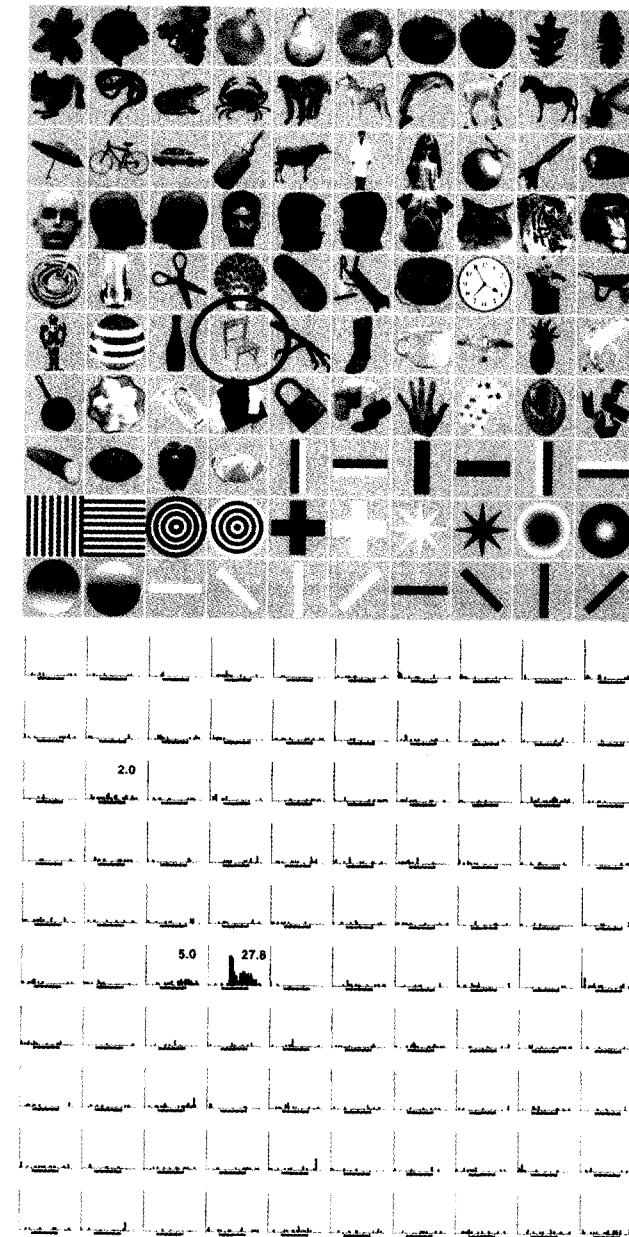



Figura 3.2 O registro dos neurônios do córtex temporal inferior do macaco demonstra uma surpreendente seletividade. Só a visão de uma cadeira aumenta fortemente a taxa de descarga desse neurônio, entre centenas de imagens apresentadas (cf. Tamura e Tanaka, 2001).

temporal inferior é vasto: um neurônio responde muitas vezes a mais da metade do campo visual. No interior desta zona, o neurônio continua a preferir um objeto bem preciso, mesmo quando sua imagem se desloca em muitos graus, ou que seu tamanho seja multiplicado ou dividido por dois[6]. Quando a luz muda, projetando, assim, sombras completamente diferentes, a maior parte dos neurônios mantém uma seletividade sem falhas[7].

O que sucede com a invariância por rotação? Ela parece menos evidente para calcular e demanda provavelmente uma operação suplementar. As posições sucessivas de uma face em rotação não são codificadas pelas regiões corticais idênticas, mas por regiões muito próximas que se recobrem parcialmente (Figura 3.3[8]). Quando um objeto se volta sobre a retina, a maior parte dos neurônios não responde senão à vista conforme certo eixo: eles não toleram mais do que cerca de 40° de rotação, além dos quais cessam de responder. Contudo, certos neurônios respondem a um objeto, seja qual for a orientação sob a qual ele for visto (Figura 3.4[9]). Pensa-se que esses neurônios invariantes por rotação recolhem os sinais de vários neurônios do primeiro tipo, sendo cada um ajustado a um eixo de visão dado.

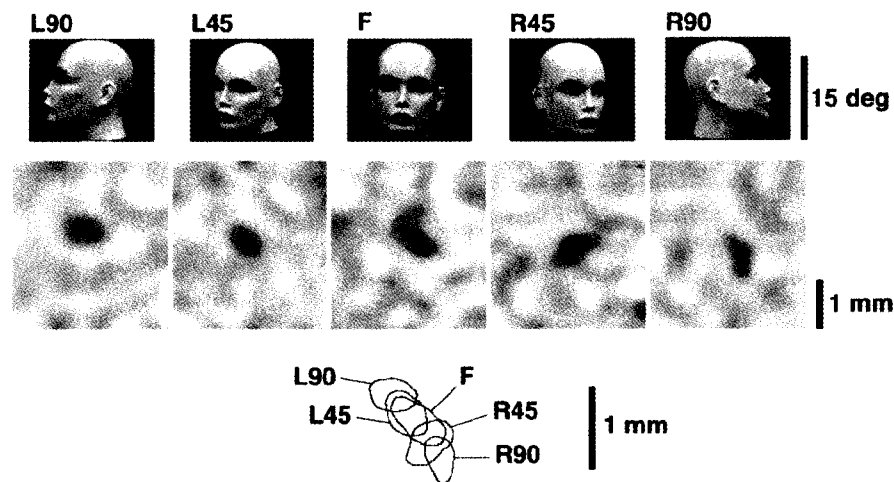



Figura 3.3 Uma pequena região do córtex temporal inferior do macaco responde às faces. A apresentação de uma face ativa uma coluna cortical de um diâmetro da ordem de 500 mícrons, que podemos visualizar em imagem ótica sob a forma de uma mancha de sombra sobre a superfície do córtex. Quando a face se volta, seus diferentes perfis ativam regiões vizinhas que se recobrem parcialmente, contribuindo, assim, para a elaboração de um "código neural" invariante para a rotação (cf. Tanaka et al., 2003).

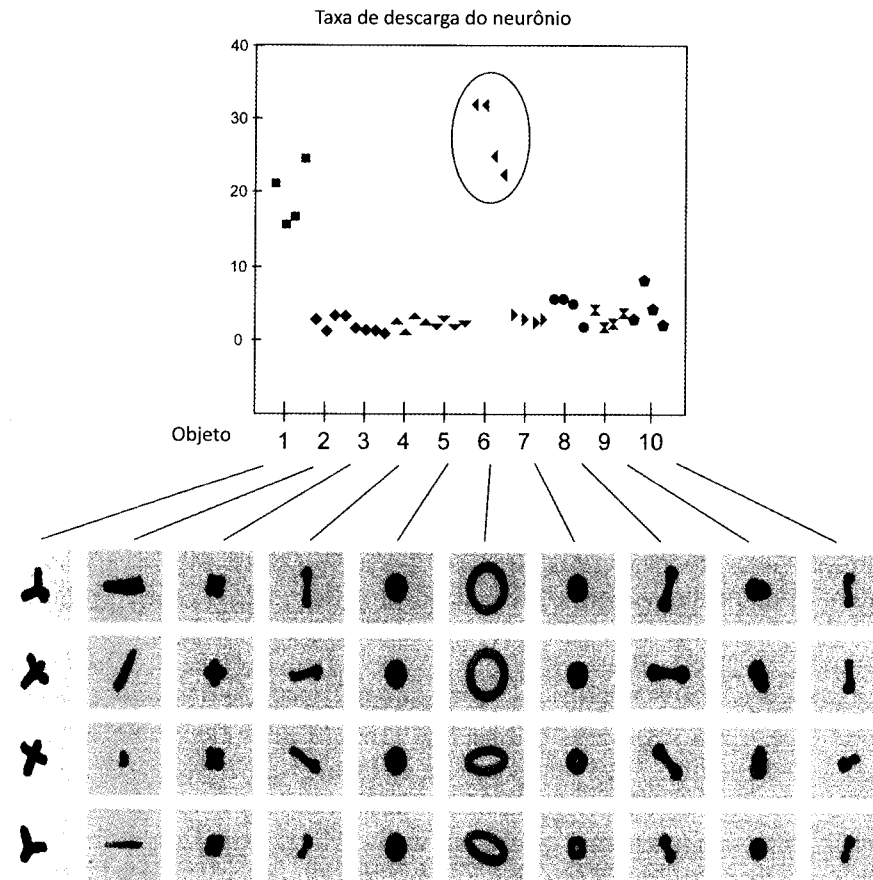



Figura 3.4 Certos neurônios do córtex temporal inferior respondem às formas de modo seletivo e invariante. Esse neurônio descarrega vigorosamente diante da apresentação de um objeto em forma de anel e, em menor medida, à apresentação de um *"trípode"*. A resposta é independente da orientação do objeto no espaço (cf. Booth e Rools, 1998).

Assim, o problema da invariância visual parece resolvido ao nível dos neurônios do córtex temporal inferior. O código neural, nesse nível, torna-se vastamente invariante: vê-se aparecerem populações de neurônios cuja atividade evocada não muda quase nada quando o objeto preferido se afasta, se desloca, muda de iluminação ou de orientação. Esses mecanismos preexistem à aprendizagem da leitura – são eles que nos permitem reconhecer uma palavra, independentemente de sua posição na página.

A ORIGEM DOS NEURÔNIOS AVÓS

Como pode ser que um único neurônio responda a uma imagem entre mil? Será necessário supor que existam em cada um de nossos cérebros milhões de neurônios ultra-especializados? No limite, em meu cérebro, encontraria um "neurônio avó" que não responderia senão à vista de minha avó, como havia proposto com certa ironia o fisiologista Horace Barlow?

No plano estritamente empírico, tão surpreendente quanto possa parecer, a resposta é positiva. Tanto no macaco quanto no homem, encontram-se neurônios tão especializados que parecem dedicados a uma pessoa, a uma imagem ou a um conceito único. Atesta esse neurônio, seu registro na região temporal anterior de um paciente epilético, que não respondia senão à estrela de Hollywood, Jennifer Aniston – de pé, só o busto, em caricatura, e mesmo diante de seu nome escrito com todas as letras[10]!

Contudo, mesmo se esta seletividade se exprime na atividade do neurônio, ela não é a propriedade de apenas uma célula. Ao contrário, se somos capazes de descobrir, picando um eletrodo ao azar, neurônios especializados numa dada pessoa, é porque devem existir vários milhões. Além do mais, a especialidade neuronal resulta necessariamente de um trabalho coletivo em rede. Em última análise, a resposta seletiva de uma célula é como a ponta de um iceberg: não a poderíamos observar se não existisse debaixo dela toda uma massa de outras células que formam uma hierarquia de detectores. Cada neurônio efetua um cálculo elementar que repousa sobre o bom funcionamento dos vizinhos, sejam eles excitantes ou inibidores. Um neurônio só não pode quase nada. Somente uma coalizão de pelo menos algumas centenas de neurônios é suscetível de influenciar, por seu turno, outras populações neurais. Cada imagem, cada face que reconhecemos são então codificadas por pequenos grupos de células seletivas – é o que denominamos a codificação por populações disseminadas de neurônios.

Como passamos da retina, onde milhões de fotorreceptores não fazem senão detectar a luz emitida por cada fragmento de imagem, ao neurônio que detecta a presença de Jennifer Aniston? O reconhecimento visual repousa sobre toda uma hierarquia neuronal que somente agora começa a ser completamente compreendida. No plano anatômico, a região temporal ventral dos primatas está organizada como uma pirâmide. A informação entra bem na base desta hierarquia, e uma cascata de conexões sucessivas a encaminha desde a área visual primária até a extremidade do polo temporal (Figura 3.5)[11]. Esta progressão anatômica é acompanhada por um aumento da complexidade funcional. A cada etapa, ao recombinar as respostas dos neurônios do nível inferior, os neurônios conseguem responder a imagens cada vez mais ricas e complexas. Pedaço a pedaço, o cérebro recompõe o quebra-cabeça, constituído pela imagem que explode na retina.

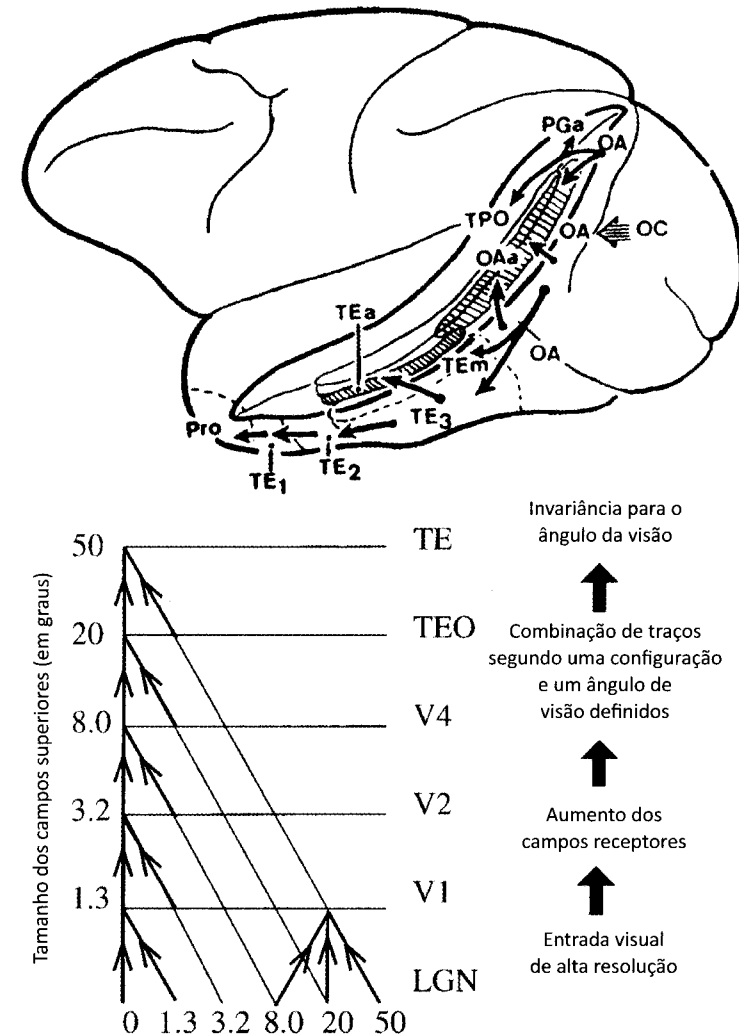



Figura 3.5 As áreas visuais do córtex occipital e temporal inferior formam uma hierarquia de invariância crescente. Elas são conectadas passo a passo conforme uma "pirâmide sináptica". A cada etapa, o campo receptor, isto é, a região da retina à qual os neurônios respondem, amplia-se na ordem de um fator de 2, ou 3, enquanto as propriedades visuais que os neurônios codificam se tornam cada vez mais complexas e invariantes (cf. Rolls, 2000).

Percorramos, em pensamento, esta pirâmide neuronal. Veremos aí uma progressão tríplice:

- Por um lado, as imagens ótimas, aquelas que desencadeiam a resposta mais forte no neurônio, tornam-se mais complexas. Por exemplo, é suficiente apresentar uma barra pequena para provocar a descarga nos neurônios da área visual primária, enquanto somente curvas mais complexas das formas, dos fragmentos de objetos ou mesmo das faces inteiras fazem os neurônios da hierarquia mais alta reagirem.
- Por outro lado, à medida que se progride na hierarquia, os neurônios respondem de modo igual a setores cada vez mais espalhados na retina. Diz-se que os "campos receptores" se ampliam num fator de 2 ou 3 a cada etapa. Isto significa que a zona da retina, onde a apresentação do objeto favorecido provoca a descarga do neurônio, vê seu diâmetro multiplicado por dois ou três.
- Enfim, esta progressão é acompanhada, do mesmo modo, por uma invariância crescente. Os neurônios do nível mais baixo são muito sensíveis às mudanças de posição, de tamanho ou de iluminação. À medida que se sobe na hierarquia, as células nervosas toleram os deslocamentos e as deformações cada vez mais importantes.

A imagem cerebral funcional mostra que, na espécie humana, o córtex occípito-temporal ventral obedece a regras similares de hierarquia e de invariância crescente[12]. Assim, tanto no homem quanto nos outros primatas, o conceito de hierarquia neuronal fornece uma solução simples ao difícil problema da invariância visual – mesmo se eu poupá-los aqui de muitos detalhes importantes. Como fazer para reconhecer um dado objeto? É suficiente aprender a reconhecê-lo sob qualquer de seus ângulos. O sistema nervoso dedica, pois, diferentes grupos de neurônios a cada visão do objeto (o perfil e a face do rosto de Jennifer). Todos esses grupos se conectam de forma a contatar um mesmo grupo de neurônios no próximo nível da hierarquia. Obtém-se, assim, um circuito elementar invariante para o ângulo de visão. No entanto, nada impede replicar o princípio em todos os níveis. Os neurônios encarregados de reconhecer, digamos, o perfil de Jennifer receberão os votos de algumas dezenas de populações do nível inferior, cada um capaz de reconhecer um fragmento desse rosto a uma escala espacial e a uma posição variável. Esses neurônios, por seu turno, para reconhecer um olho, recolherão todos os traços do nível inferior compatíveis com a presença de um olho num ponto dado do campo visual.

Em resumo, conforme esse modelo, o sistema visual dos primatas aplica um método de decomposição da imagem, cujos princípios fundamentais são o paralelismo maciço e a hierarquia. Explodindo num mosaico de manchas de luz na área visual primária, a imagem mental é progressivamente recomposta por uma pirâmide hierárquica de neurônios. Este enfoque pode parecer custoso: milhões de processadores neuronais devem se especializar para o reconhecimento dos respectivos fragmentos de objetos.

Contudo, trata-se de um custo muito leve para o sistema nervoso que funciona efetivamente como uma montagem de pequenas calculadoras elementares organizadas em paralelo.

Além do mais, esse gasto maciço de unidades de cálculo permite uma grande economia de tempo. Os neurônios são calculadoras extraordinariamente lentas. Com efeito, estima-se que eles possam transmitir informações em menos de uma dezena de ms, ou seja, dez mil vezes mais lentamente que a escala de um microssegundo, que caracteriza um microprocessador eletrônico. Contudo, sua organização paralela permite um reconhecimento extraordinariamente eficaz: 150ms são suficientes para reconhecer uma palavra ou um animal, sejam quais forem sua identidade e sua posição[13].

Vários modelos detalhados da hierarquia visual, baseados nos princípios que acabo de esboçar, foram simulados no computador[14]. Os melhores dentre eles se aproximam dos desempenhos humanos, tanto na rapidez quanto na sua capacidade de invariância. Graças a essas redes de neurônios artificiais, o reconhecimento automático dos rostos pelo computador, ou a leitura informatizada das placas de matrículas deixaram o domínio da ficção científica para tornar-se parte integrante de nossa vida cotidiana.

O ALFABETO NO CÉREBRO DOS MACACOS

Conforme o modelo hierárquico, o código neural de um objeto é constituído por um mosaico hierárquico de neurônios que "votam" em favor deste objeto porque nele reconheceram certos traços. Assim, a maior parte dos neurônios seletivos dos objetos deveria responder a certas visões, mais ou menos restritas e simplificadas, das partes desses objetos.

É esta a lógica que conduziu o neurofisiologista japonês Keiji Tanaka e seus colegas a uma descoberta notável: a presença no cérebro do macaco de um mosaico de detectores neuronais das formas elementares que atapetam a superfície do córtex temporal inferior. Essas formas pri-

mitivas jogam para o reconhecimento dos objetos o papel de um alfabeto cujas combinações permitem descrever não importa qual objeto. Chamo essas formas de "protoletras" porque não somente elas funcionam como um alfabeto combinatório, mas, algumas delas se parecem exatamente com as letras!

Para esclarecer a codificação neuronal dos objetos, Tanaka e seus colegas empregaram um procedimento de simplificação progressiva das imagens (Figura 3.6). Partindo de uma imagem à qual um neurônio respondia de forma vigorosa, eles a foram progressivamente depurando até conseguir a forma mais elementar possível que continuasse a provocar a descarga do neurônio. Quando um neurônio respondia à imagem de um gato, por exemplo, ele continuava a responder à simples apresentação de dois discos superpostos. Outro neurônio preferia a imagem de uma maçã, mas descarregava na realidade desde que lhe apresentassem um disco preto provido com uma pequena cauda. Um terceiro neurônio, inicialmente sensível à imagem de um cubo, respondia na realidade à junção das bordas centrais em forma de "Y"[15]. A maioria dos neurônios do córtex temporal inferior resistia, assim, a uma simplificação dos traços da imagem.

Na sequência de centenas de registros individuais desse tipo e sobrepondo-os com a posição de eletrodos, Tanaka conseguiu reconstituir o mosaico que esses neurônios formam sobre a superfície do córtex. Uma vez reduzida a sua expressão mais simples, a preferência dos neurônios varia de modo regular e constitui um mapa de formas: os neurônios vizinhos sobre a superfície do córtex têm a tendência a codificar as formas similares (Figura 3.6). Encontra-se, por exemplo, toda uma região do córtex dedicada às variantes da forma em T. Outros setores do córtex se dedicam às formas em 8, em estrela, ao perfil elementar de um rosto... Revela-se, assim, um dicionário cortical de formas elementares. Num ponto dado do córtex, todos os neurônios que pertencem à mesma "coluna" transversal não têm exatamente as mesmas preferências, mas parecem responder a pequenos desvios métricos da forma de base. Coletivamente, eles constituem, assim, um imenso repertório de variantes de formas, capaz de categorizar a imagem para reconhecer, por exemplo, a presença de uma face, mas igualmente de individualizar cada imagem particular, quando o momento o exige – por exemplo, quando se trata de reconhecer o rosto de Jennifer Aniston, sua idade ou sua expressão. Combinando as respostas desses milhares de detectores, compreende-se como nosso córtex consegue codificar uma imensa variedade de objetos.

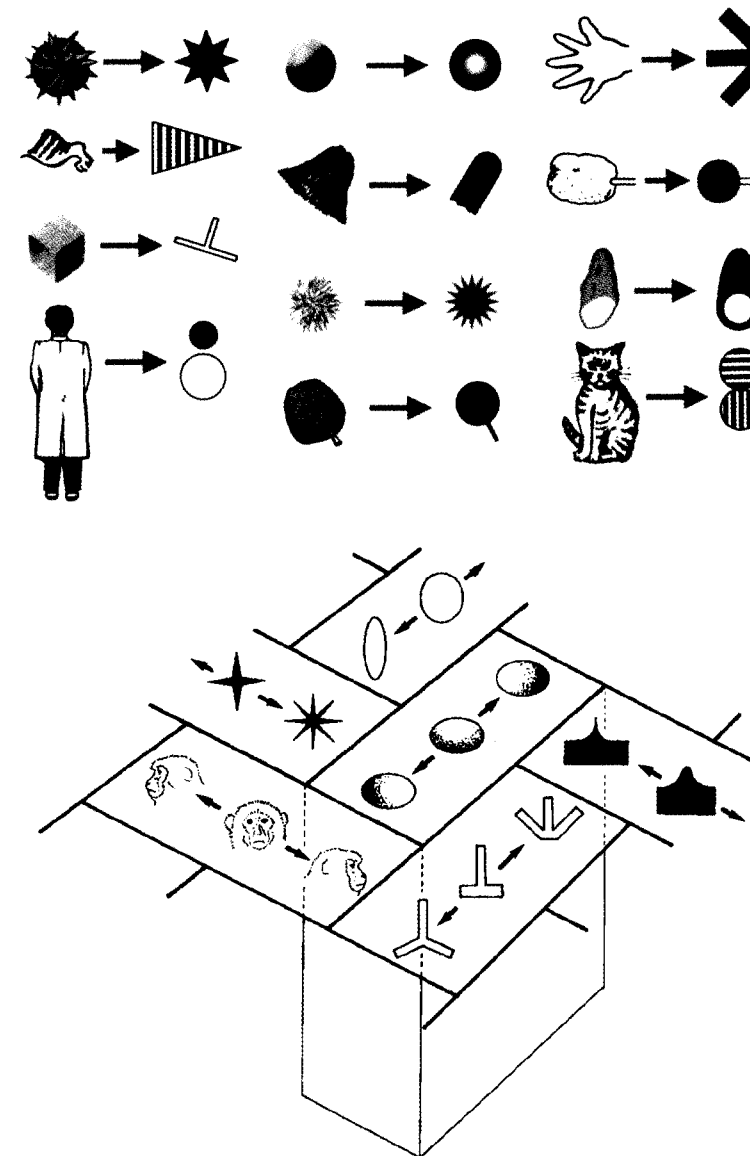



Figura 3.6 O procedimento de simplificação progressiva de Tanaka revela uma microtopografia no córtex temporal. Partindo de uma imagem que faz um neurônio descarregar vigorosamente, ela é simplificada progressivamente até que seja encontrada a forma mais simples que evoque uma resposta pelo menos tão forte (ao alto). Algumas dessas formas mínimas evocam as letras. Os neurônios que a elas respondem são organizados em colunas. Quando nos deslocamos ao longo da superfície do córtex, a forma preferida varia continuamente (cf. Tanaka, 2003).

Um dos discípulos de Keiji Tanaka, Manabu Tanifuji, conseguiu, em seguida, visualizar diretamente como as combinações desses neurônios representam um objeto qualquer. Ele se serviu de uma técnica de imagem óptica que lhe permitiu visualizar, numa só medida, o conjunto do código neural evocado por um objeto no córtex temporal inferior[16]. Utilizando uma câmera de vídeo muito sensível às mudanças de reflexão da luz sobre a superfície do córtex, ele conseguiu medir, de forma indireta, a atividade neuronal. Com efeito, a quantidade de luz refletida varia em função do metabolismo do tecido e, em particular, conforme as mudanças de oxigenação de hemoglobina nos micro-capilares (o mesmo parâmetro que mede a IRM funcional no homem). Munida de forte ampliação, a câmera consegue distinguir no macaco anestesiado estruturas ativadas da ordem de algumas centenas de mícrons, isto é, da ordem de grandeza das colunas corticais inferidas por Tanaka.

Numa de suas experiências, Manabu Tanifuji apresenta ao macaco a imagem de um extintor – a ideia é estimular o córtex com objetos novos que os macacos não tiveram a ocasião de ver no curso de sua evolução. O mosaico cortical que codifica este objeto se revela imediatamente sob a forma de múltiplas manchas dispersas, bem distintas, que constituem a assinatura cortical deste objeto (Figura 3.7). Retiremos agora a alça e o punho do extintor, conservando o cilindro do reservatório: algumas manchas se apagam, outras resistem ativas, outras ainda se iluminam. A cada objeto, mesmo novo e incongruente, a combinatória se modifica dinamicamente e atribui de imediato um código neural único.

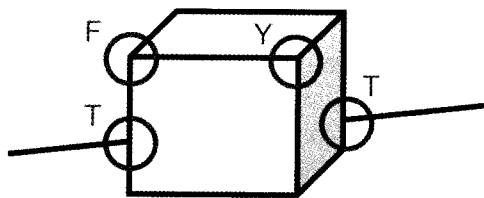
Cada imagem, numerada de 1 a 4, ativa um conjunto discreto de microrregiões no seio de um setor de alguns milímetros quadrados do córtex. O registro de neurônios únicos (embaixo) revela o código associado a cada microrregião. A região A responde ao punho do extintor e, de fato, a toda forma que apresente pontas (dedos da mão, orelhas do gato). A região B responde à forma em J da alça do extintor. A região C responde à forma alongada do cilindro do extintor, mas somente se ele não for contornado por detalhes tais como o punho, ou a alça. A região D, enfim, responde a toda forma alongada e oblíqua. A combinação desses traços elementares define precisamente a identidade do objeto (cf. Tsumoda et al., 2001).

O registro de neurônios únicos, no interior de cada uma das manchas assim reconhecidas, revela o código combinatório subjacente. Num dos lugares, é o punho do extintor que provoca a descarga dos neurônios – como, ademais, não importa qual forma em "V", composta de múltiplas pontas, por exemplo, o contorno de uma mão ou as orelhas de um gato. Noutro ponto, os neurônios respondem apenas à alça – mas uma linha reta não é suficiente: é necessário que a forma seja curva, tal como um "J". Um terceiro grupo de neurônios é mais sutil ainda. Ele responde ao cilindro do extintor, como, além do mais, a toda a forma alongada e vagamente retangular -, mas cessa de responder quando esse retângulo estiver munido de detalhes suplementares, tais como o punho e a alça.

Assim começa a se revelar como o córtex temporal chega a codificar, através da combinatória de um alfabeto de formas elementares, não importa qual seja o objeto visto pelo animal. Não somente neurônios diferentes são sensíveis às diferentes partes dos objetos, mas eles codificam igualmente seu agenciamento no espaço. Essa sintaxe combinatória se encontra em níveis hierárquicos múltiplos do sistema visual – só a escala espacial e o grau de abstração das propriedades visuais aumentam progressivamente. Assim, se a área visual primária (VI) parece consagrada à detecção dos traços, na área visual secundária (V2) os neurônios são sensíveis à combinação de duas linhas, de acordo com um ângulo determinado[17]. Mais à frente, na parte posterior do córtex temporal inferior (uma área denominada TEO) encontram-se neurônios que respondem a combinações de pedaços de curvas[18]. Sua seletividade para as formas simples, por exemplo, um F, se reduz à detecção de uma conjunção de pequenos segmentos de curva, cada um no seu devido lugar: a barra do alto, o ângulo ao alto, à esquerda, a pequena barra no meio, e assim por diante. Em resumo, o mesmo esquema parece se repetir em diferentes níveis da hierarquia visual. A cada etapa, os neurônios extraem sua seletividade de uma conjunção de traços mais elementares codificados pelos neurônios do nível inferior.

DE ONDE PROVÊM AS PROTOLETRAS?

Não se pode deixar de ficar chocado pela semelhança entre as formas que os neurônios preferem e as das letras do alfabeto, ou as de certos caracteres chineses (Figuras 3.4 e 3.6). Assim, alguns neurônios respondem a dois discos superpostos que formam o símbolo 8, outros a duas barras que formam um T, outros ainda a um asterisco, um círculo, um J... De onde provêm essas "protoletras" tão profundamente inscritas em nosso cérebro de primata? Por que constituem a imagem preferida por tantos neurônios? Por qual extraordinário azar elas se parecem tão estreitamente ao alfabeto que os judeus, os gregos e os romanos nos transmitiram? De onde provém esse misterioso paralelismo entre esses dois mundos que supúnhamos estanques – as profundezas do córtex do macaco e as superfícies de argila, de juncos ou de pergaminho sobre as quais escreveram os primeiros escribas?

Trata-se de uma simples coincidência? Não o creio. As formas que nosso córtex escolheu para representar os objetos foram provavelmente selecionadas, seja na evolução das espécies, seja mais verossimilmente no curso da aprendizagem visual própria a cada indivíduo, precisamente porque elas constituem um repertório útil para a codificação de numerosas cenas visuais. A forma em T, por exemplo, aparece com frequência nas imagens naturais. Desde que falte algo num objeto, seus contornos se reencontram quase sempre de acordo com uma junção em T.

Outras configurações características, como o Y ou o F, aparecem quando várias arestas se encontram numa extremidade. As formas em J ou em 8 resultam de outras combinações topológicas dos bordos da imagem. Todos esses elementos de forma fazem, pois, parte do que denominamos as "propriedades não acidentais dos objetos". Assim as denominamos porque é muito pouco provável que as observemos por azar, sem que um objeto esteja presente. Jogue fósforos no chão e você verá que dificilmente dois dentre eles se encontrem com precisão para formar um T. É menos provável ainda que três deles se juntem para formar um Y. Dito de outro modo, se nós observamos essas formas na retina, é porque existem fortes chances de que elas indiquem a presença de um objeto estruturado.

Por que o córtex julga útil codificar essas propriedades não acidentais? Porque sua combinação, própria a cada objeto, é, com frequência, única e invariante, face às mudanças de tamanho, de ponto de vista e de iluminação. Vire uma xícara de café em sua mão e você verá que, na maior parte dos ângulos, a asa se une à xícara de acordo com duas junções em T, enquanto o lábio da xícara encontra cada um dos bordos, formando duas outras junções em F (evidentemente, o ângulo exato formado pelos contornos varia). É difícil, mesmo fechando um olho, encontrar o único ângulo de visão, no qual o lábio e o bordo da xícara não formem mais que um ângulo correto. Assim, em muitos casos, a lista de junções entre as arestas é invariante: ela é suficiente para caracterizar um objeto, seja qual for sua orientação. Concebe-se, pois, o interesse que o sistema nervoso pode ter em fixar, de modo o mais eficaz possível, essas invariâncias de forma.

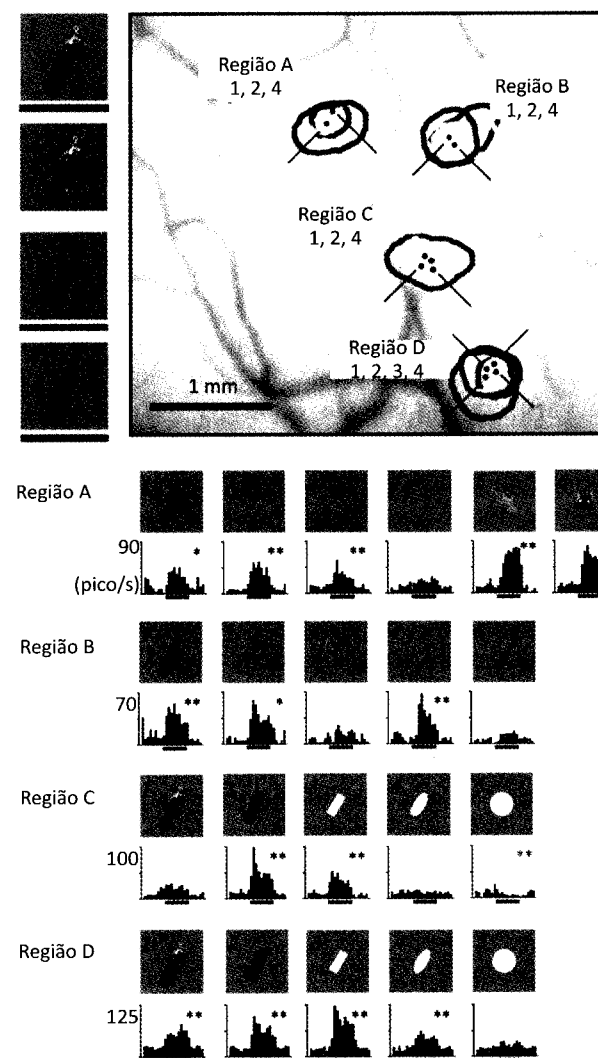



Figura 3.7 Um objeto complexo é representado no córtex temporal inferior por uma combinação de colunas de neurônios. Manabu Tanifuji e seus colegas do Instituto Riken, em Tóquio, apresentaram a um macaco anestesiado várias imagens diferentes de um extintor (ao alto, à esquerda).
Cada imagem, numerada de 1 a 4, ativa um conjunto discreto de microrregiões no seio de um setor de alguns milímetros quadrados do córtex. O registro de neurônios únicos (embaixo) revela o código associado a cada microrregião. A região A responde ao punho do extintor e, de fato, a toda forma que apresente pontas (dedos da mão, orelhas do gato). A região B responde à forma em J da alça do extintor. A região C responde à forma alongada do cilindro do extintor, mas somente se ele não for contornado por detalhes tais como o punho, ou a alça. A região D, enfim, responde a toda forma alongada e oblíqua. A combinação desses traços elementares define precisamente a identidade do objeto (cf. Tsumoda et al., 2001).

Existem ainda muitas propriedades não acidentais às cenas visuais. O paralelismo faz parte delas: é muito pouco provável que uma imagem contenha segmentos paralelos por acidente, sem que os bordos pertençam a um objeto tridimensional. Outras invariâncias são topológicas: se um objeto contiver uma abertura, é provável que sua projeção sobre a retina compreenda uma curva característica em forma de "O". Suas invariâncias são tão distintivas que parece que nosso sistema nervoso as internalizou profundamente. Conforme o psicólogo californiano Irving Biederman, quando reconhecemos um objeto, nós não recuperamos sua imagem visual detalhada na memória. Nosso cérebro se contenta em extrair da retina um esboço baseado nas propriedades não acidentais e nas suas relações topológicas espaciais[19]. A extração nos permite, num primeiro momento, reconstituir as formas tridimensionais elementares constitutivas do objeto – superfícies, cones, bastões, etc. – e, num segundo momento, reunir esses elementos numa representação completa de sua forma. O interesse em tal codificação está em resistir bem às rotações, fechamentos e outras degradações da imagem.

Em apoio a sua tese, Irving Biederman demonstrou que a percepção humana se apoia mais nas propriedades não acidentais dos objetos que em outros aspectos da imagem. Por exemplo, quando se apaga a metade dos píxeis de uma imagem, o impacto será muito diferente, conforme tocarmos ou não nas propriedades não acidentais.

- se apagarmos as que ligam duas propriedades não acidentais, o objeto resultará reconhecível;
- se, ao contrário, forem as próprias propriedades não acidentais as apagadas, o reconhecimento então se torna impossível (Figura 3.8) [20].

Do mesmo modo, quando tivermos que decidir se dois objetos são idênticos ou diferentes, as diferenças saltarão aos olhos se elas disserem respeito às propriedades não acidentais (por exemplo, entre um "O" e um "8") enquanto se tornam muito difíceis de detectar quando não afetarem senão as propriedades métricas de tamanho ou de distância (por exemplo, entre um "O" e um "o") [21].

Em colaboração com o neurofisiologista Rufi Vogels, Irving Biederman mostrou também que numerosos neurônios do córtex temporal inferior do macaco resistiam às deformações métricas, preservando as propriedades não acidentais[22].

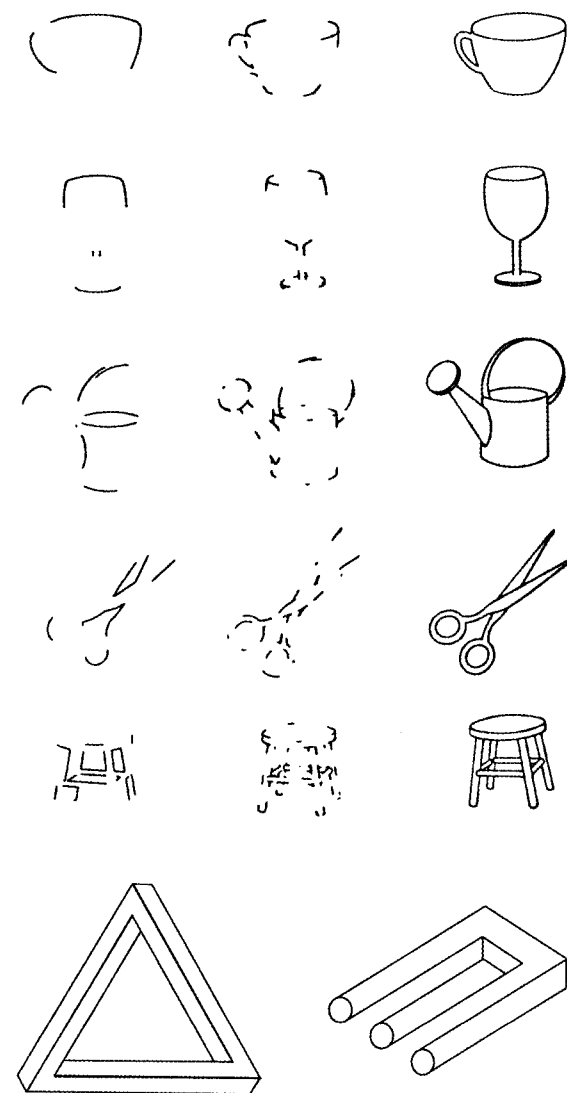



Figura 3.8 Os objetos complexos são reconhecidos principalmente a partir das configurações que formam seus contornos. Os pontos de junção entre esses contornos, que formam as configurações em T, em L, em E ou em F, jogam um papel essencial no reconhecimento visual. Quando se apagam as junções, a imagem se torna difícil de reconhecer (coluna à esquerda), enquanto o apagamento de uma quantidade equivalente de contornos, sem tocar nas junções, coloca dificuldades menores (coluna do meio, cf. Biederman, 1987). Ao inverso, desde que as junções sejam preservadas, mesmo se elas não formarem um todo coerente, nosso sistema visual não consegue deixar de ver os objetos, embora sejam fisicamente impossíveis (imagens embaixo).

Assim, o alfabeto de formas preferidas pelos neurônios joga um papel bem particular: suas formas elementares, que se parecem com frequência com as letras (T, F, Y, O), foram adotadas pelos neurônios do córtex temporal inferior do macaco porque constituem um repertório ótimo, invariante às transformações da imagem, e cuja combinatória permite representar uma infinidade de objetos. É provável que outras formas sejam acrescidas, em virtude de sua pertinência biológica. Por exemplo, Tanaka observou que certos neurônios codificam um ponto negro sobre fundo branco, ou o inverso. Esses neurônios poderiam ajudar na detecção do olhar e dos rostos, uma competência essencial para nossa espécie. Outros neurônios são sensíveis à forma da mão ou dos dedos. No conjunto, contudo, o córtex temporal inferior parece privilegiar um alfabeto de formas geometricamente simples, invariâncias matemáticas que a humanidade não fez senão redescobrir bem mais tarde, quando as gerações de escribas inventaram a escrita e o alfabeto.

A APRENDIZAGEM DAS FORMAS

Acabamos de ver que o reconhecimento dos objetos repousa sobre um código combinatório, um alfabeto cortical de formas. Mas de onde ele próprio provém, este alfabeto? Ele está inscrito nos genes, ou resulta de uma aprendizagem?

É possível que certas formas sejam tão úteis ao reconhecimento visual que elas tenham sido internalizadas no curso da evolução das espécies e sejam agora pré-conectadas em nosso sistema visual. Os rostos, os olhos, as junções em T poderiam fazer parte dum léxico inato de formas. De um ponto de vista evolutivo, elas confeririam ao organismo, desde o nascimento, uma imensa vantagem na interação rápida com o ambiente e seu entorno.

Contudo, é difícil imaginar como o genoma humano, com apenas cerca de apenas 25.000 genes, possa conter todas as instruções detalhadas necessárias às pré-conexões dos detectores de rostos... ou de extintores! Pelo contrário, o córtex temporal inferior possui capacidades demonstradas de plasticidade e de aprendizagem. É, pois, provável que a maioria dos neurônios responsáveis pelo reconhecimento de objetos receba suas propriedades de uma interação forte com as imagens do mundo exterior e, portanto, de uma aprendizagem. No curso do desenvolvimento do indivíduo e, sem dúvida, ao longo de toda a vida, cada neurônio ajustaria de modo permanente suas conexões aos objetos percebidos. Ele selecionaria, entre dezenas de milhares de conexões sinápticas recebidas, aquelas que realizam as conjunções pertinentes para o organismo.

Não é, por certo, fortuito ensinar a leitura nesta idade tão precoce quando a plasticidade atinge seu pico. Imergindo as crianças num ambiente artificial feito de letras e de palavras, reorientamos sem dúvida um bom número dos neurônios do córtex temporal inferior a fim de que eles codifiquem de modo ótimo a escrita. Com efeito, numerosas experiências demonstraram que, quando um macaco é treinado para discriminar objetos novos, muitos neurônios se põem progressivamente a responder de modo preferencial. É o caso, mesmo quando as formas a serem reconhecidas forem barras de ferro ou fractais arbitrários muito diferentes daquelas que um animal poderia encontrar no mundo natural[23]. Os neurônios adquirem esta sensibilidade, aprendendo a detectar as conjunções dignas de nota dos traços salientes.

Assim, Chris Baker, Marlene Behrmann e Carl Olson[24] ensinaram macacos a reconhecer uma espécie de "cetros" cujas duas extremidades tinham formas características, por exemplo, um quadrado numa ponta e um tridente na outra. Depois da aprendizagem, numerosos neurônios do córtex temporal se puseram a responder seletivamente a esses objetos estranhos. Quando lhes apresentavam cada extremidade separadamente, eles não respondiam senão debilmente. A resposta à imagem inteira ultrapassava, pois, a simples soma das respostas a cada uma de suas partes. É uma prova direta de que os neurônios podem aprender a reagir a conjunções novas. No interior do imenso repertório de formas possíveis, somente aquelas que tivermos encontrado no passado são representadas explicitamente pelos "neurônios de conjunção". As outras combinações permanecem disponíveis, mas num estado de simples potencialidade: enquanto a aprendizagem não tiver acontecido, essas combinações não se tornam explícitas aos neurônios de nível superior.

O INSTINTO DE APRENDER

A plasticidade cerebral foi tantas vezes demonstrada que foi considerada com frequência como uma propriedade evidente por si mesma; ela faria parte das características físicas intrínsecas do tecido cerebral possuídas por não importa qual neurônio. Na realidade, a capacidade de aprendizagem deve acima de tudo ser considerada como uma evolução sofisticada do córtex. Em alguns circuitos e em certos momentos, o organismo ganha em deixar uma parte de seu sistema nervoso adaptar-se aos limites do mundo exterior. É somente nesses casos que a evolução põe

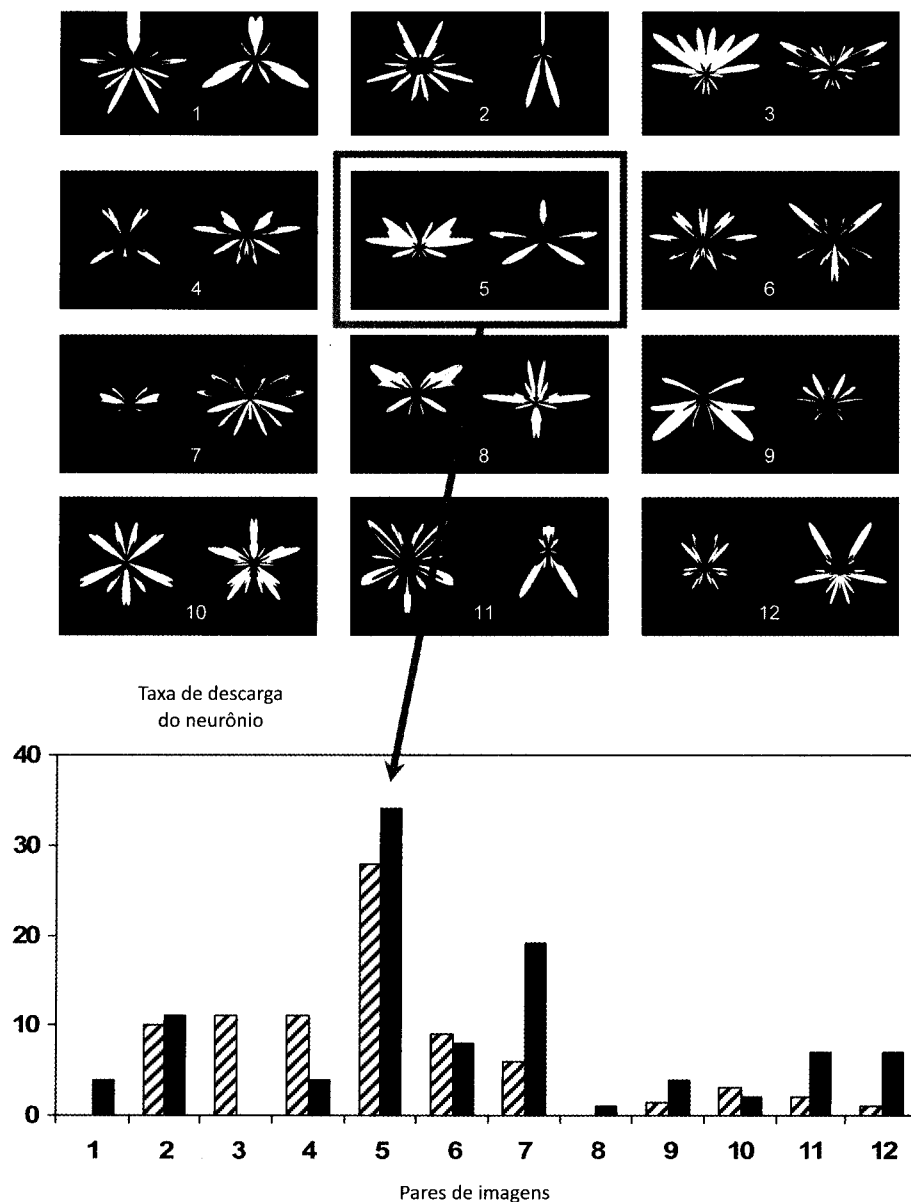



Figura 3.9 Os neurônios do córtex ínfero-temporal podem aprender a responder a formas arbitrárias. Sakai e Miyashita (1991) ensinaram macacos a associar imagens fractais aos pares. Depois da aprendizagem, um só e mesmo neurônio respondia com frequência aos dois membros do par – associação convencional, que evoca o elo arbitrário entre letras maiúsculas e minúsculas (redesenhado, cf. Sakai e Miyashita, 1991).

em curso mecanismos de aprendizagem. Portanto, não existe nenhum paradoxo, ao se falar de mecanismos rápidos de aprendizagem, ou mesmo de "instinto de aprender", conforme a feliz expressão de Peter Marler[25]. O velho antagonismo entre inato e adquirido é uma armadilha, uma vez que a própria aprendizagem repousa sobre uma maquinaria inata e rígida. Com toda a evidência, o adquirido se apoia no inato.

O melhor exemplo dos limites da plasticidade cerebral é o da fusão das informações originárias dos dois olhos. Durante a infância, mecanismos genéticos rígidos abrem, brevemente, uma janela estreita de plasticidade no sistema visual. Este período de algumas semanas no gato, alguns meses nos primatas não humanos e alguns anos no homem autoriza um ajustamento fim das conexões da área visual primária para alinhar as informações provindas de cada olho. Durante este período, os neurônios aprendem a detectar o aparecimento da mesma imagem em dois pontos suficientemente próximos do olho esquerdo e do olho direito. No final deste período crítico, o circuito está fixado. As crianças estrábicas durante este período crítico perdem para sempre o uso da estereoscopia, isto é, a exploração da decalagem entre as imagens originárias dos dois olhos para ver em três dimensões. O inato não abre a porta para o adquirido senão durante um instante.

A plasticidade do córtex temporal inferior que nos permite aprender novos objetos não é basicamente diferente, mesmo se estendida ao longo de nossa vida. Nosso córtex temporal está programado a fim de por em relação, em todos os níveis, os dados sensoriais entre si e memorizar as conjunções resultantes. Assim, a identidade de um objeto é verossimilmente reconhecida porque ela cria uma configuração única de correlações entre as células. A visão dum extintor, por exemplo, faz iluminar simultaneamente várias populações que codificam o cilindro, o punho, a alça, a cor vermelha, bem como outros primitivos. Esta configuração reproduzível de atividade é então estocada e estabilizada por um aumento da força das sinapses que religam todos esses neurônios. Bem entendido, num nível inferior, cada um desses primitivos deve ser, por seu turno, reconhecido como uma conjunção aprendida de primitivos mais simples. É, pois, um mecanismo de aprendizagem hierárquica e em cascata que nos permite aprender a reconhecer objetos novos.

No cume desta pirâmide hierárquica se coloca um problema de aprendizagem particular. Nesse nível elevado de invariância, vimos que os neurônios respondem a múltiplas visões do mesmo objeto, de frente e de perfil – ver, no homem, o nome e a fotografia da mesma pessoa (Jennifer Aniston). A aprendizagem desta invariância não se pode mais explicar pela

simples memorização de uma configuração de neurônios co-ativados no mesmo instante. Na verdade, apenas nos quadros de Picasso vemos simultaneamente o perfil e o rosto de uma mesma pessoa. No mundo natural, as diferentes imagens se apresentam em instantes diferentes. Como um neurônio pode, pois, aprender a reconhecer que elas estão associadas ao mesmo objeto? Yasushi Miyashita, da Universidade de Tóquio, descobriu um mecanismo neuronal plausível que poderia explicar esta aprendizagem. Ele mostrou que os neurônios do córtex temporal inferior são sensíveis às correlações temporais[26]. Se apresentarmos ao animal formas fractais que não mantêm nenhuma relação entre si, cada uma se vê codificada por uma população distinta de neurônios. Contudo, se essas formas forem associadas no tempo, seja porque elas aparecem de modo consecutivo numa lista, seja porque elas são apresentadas aos pares, então essas formas convocam com frequência os mesmos neurônios. Assim, um mesmo neurônio acaba por responder a duas imagens completamente distintas, cujo único ponto em comum é terem sido associadas no tempo (Figura 3.9). Em outros termos, a região temporal consegue reunir e representar por um mesmo neurônio conjunções temporais de imagens arbitrárias.

Um tal mecanismo é suficiente para engendrar representações invariantes dum grau de abstração muito alto. Quando encontramos Jennifer Aniston, vista de perto, de longe, de frente ou de perfil, nossos neurônios temporais conseguem manter dela uma representação estável. Esse mecanismo de associação arbitrária por correlação temporal poderia jogar um papel essencial na leitura. Em um nível baixo, ele permite associar um "a" a um "A" maiúsculo, para formar um detector invariante de letras. Num nível mais alto, ele organiza o encontro entre as letras e os sons para formar a via de reunião entre os grafemas e os fonemas.

A HIPÓTESE DA RECICLAGEM NEURONAL

Em resumo, entre os primatas, a visão não é nem pré-codificada desde o nascimento, nem surge virgem de toda a estrutura, para a impressão do mundo exterior. A arquitetura geral do sistema visual é estreitamente limitada e reproduzível, mas o detalhe das respostas de cada neurônio depende de cenas visuais que o organismo encontrou previamente. Mecanismos sofisticados de aprendizagem estatística detectam regularidades do mundo exterior. Nosso cérebro está construído a fim de que certas coincidências suspeitas – alinhamento de várias barras sobre a retina, presença da junção em T, ou em L, sequências reproduzíveis de imagens, etc. – sejam extraídas e internalizadas na arquitetura mesma das conexões do córtex temporal ventral.

Esta plasticidade sináptica, que se prolonga até a idade adulta, joga um papel essencial em nossa capacidade de aprender a ler. É ela que autoriza uma reconversão parcial da arquitetura do córtex visual dos primatas ao caso particular colocado pelo reconhecimento das letras e das palavras. Nosso sistema visual herdou de sua evolução a flexibilidade bastante para se reciclar num cérebro de leitor.

O cérebro da criança pequena, quando chega à escola, já está preparado para o reconhecimento das letras e das palavras. Como todos os primatas, seu córtex temporal ventral contém provavelmente um precursor do alfabeto. O reconhecimento de objetos já funciona de acordo com um princípio combinatório, para a recombinação de vastos conjuntos de neurônios que codificam um alfabeto de formas, que denominei de "protoletras", dentre as quais um bom número já é semelhante a certas letras.

Segundo penso, não é senão graças a esta pré-adaptação do córtex temporal inferior dos primatas que chegamos a ler. Nossa capacidade para ler não existe senão porque nosso sistema visual cumpriu espontaneamente operações próximas daquelas necessárias ao reconhecimento das palavras e porque está dotado de uma margem de plasticidade que lhe permite aprender formas novas. No curso da aprendizagem da leitura, uma parte do sistema consegue se converter ao reconhecimento invariante das letras e das palavras.

Nosso córtex não tem, pois, nada de barro virgem ou de uma tabuleta de cera que registrariam fielmente a impressão de todas as invenções culturais as mais arbitrárias. Não existe um órgão rígido que, no curso da evolução, tivesse destinado um "módulo" à leitura. Ele se parece mais a um kit de bricolagem, ou a uma caixa de Meccano com a qual a criança pode fabricar qualquer modelo previsto pelo fabricante, mas, igualmente, pode criar outras máquinas mais ou menos funcionais.

Conforme esta visão, natureza e cultura mantêm relações estreitamente imbricadas. Nossa história evolutiva, pelo viés do patrimônio genético, especifica sua arquitetura cerebral limitada, mas parcialmente modificável. Novas invenções culturais são possíveis, mas somente na medida em que se ajustarem aos limites da arquitetura de nosso cérebro e entrarem no envelope da plasticidade. Esses objetos novos de cultura podem se afastar consideravelmente dos objetos naturais por meio dos quais nosso cérebro evoluiu – nada, no mundo natural se parece a uma página de texto. Mas eles devem, no mínimo, encontrar seu "nicho eco-

lógico" no cérebro: um circuito cujo papel inicial é muito próximo, e cuja flexibilidade é suficiente para ser convertido a esse novo uso.

Um conceito darwiniano clássico nos vem à mente: o de "exaptação[27]". Esse termo, inventado por Steven Jay Gould, designa a reutilização, no curso da evolução das espécies, de um mecanismo biológico antigo para um papel completamente diferente daquele que possuía inicialmente. O mais belo exemplo de "exaptação" é, talvez, o dos minúsculos ossos que, no mais profundo de nossas orelhas, parecem magnificamente concebidos para a amplificação dos sinais auditivos – quando, em realidade, eles são originários da ossatura da mandíbula!

Num artigo célebre, François Jacob concebe a evolução como um montador criativo, que acumula em sua garage um bricabraque de tábuas, de sucata ou de engrenagens e as reúne para formar uma máquina nova[28]. Conforme minha hipótese, a invenção cultural resulta de um mecanismo similar, ou seja, a cooptação de circuitos neuronais antigos e sua recombinação em objetos culturais quiméricos que são úteis à sociedade ou são simplesmente estáveis e reproduzíveis em seu seio.

No caso dos objetos culturais, contudo, a bricolagem acontece a uma velocidade bem maior do que a da evolução biológica. Sua invenção não requer senão algumas semanas ou alguns meses (mesmo que decorram a seguir muitas gerações antes que a invenção se espalhe a toda a população). Além disso, a criação de novos objetos culturais repousa sobre mecanismos neuronais de aprendizagem que não necessitam nenhuma mudança de genoma. É em virtude dessas diferenças fundamentais entre evolução biológica e evolução cultural que me parece útil introduzir um termo novo, o de "reciclagem neuronal" para caracterizar a interface entre objetos de cultura e circuitos dos neurônios.

Entendo por esse termo a invasão parcial ou total de territórios corticais inicialmente destinados a uma função diferente, por um objeto cultural novo. A palavra evoca uma mudança de função na escala de alguns meses, por exemplo, quando uma pessoa se recicla com vistas a aprender um novo ofício adaptado à evolução do mercado de trabalho. A reciclagem neuronal é uma reconversão: ela transforma uma função que, antes, tinha sua utilidade em nosso passado evolutivo, numa função nova mais útil no contexto cultural presente.

A palavra "reciclagem" acentua igualmente que o tecido neuronal que permite a aprendizagem não se comporta como barro virgem. Ao contrário, ele possui as propriedades intrínsecas que o tornam mais ou menos apropriado à nova utilização que o obrigamos a desempenhar. Não podemos produzir todo e qualquer objeto a partir do vidro ou do papel reciclado. Esses materiais possuem propriedades físicas intrínsecas que os tornam apropriados para certos usos. Da mesma forma, cada região cortical, por sua conectividade, sua plasticidade, seu viés genético inicial, possui propriedades adaptadas a sua função. Conforme o modelo de reciclagem neuronal, a aprendizagem cultural jamais reverte totalmente esses vieses. Ela os contorna de modo mínimo a fim de que eles possam preencher um papel novo. Assim, devemos nos ater ao fato de que os objetos culturais não são infinitamente maleáveis, mais refletem os limites intrínsecos do material neuronal de onde provêm.

O NASCIMENTO DE UMA CULTURA

A reciclagem neuronal joga um papel essencial na estabilização do que denominamos cultura, isto é, o conjunto de representações mentais compartilhadas que caracterizam um grupo humano. Conforme o evolucionário Richard Dawkins, da mesma maneira como a reprodução propaga os genes, a transmissão de informações culturais de um indivíduo a outro propaga os "memes", tijolos de base da cultura que podem registrar desde a receita de crepe Suzette até componentes mais fundamentais tais como a escrita ou a religião[29]. Susan Blackmore, que se fez apóstola desta ideia, fala do cérebro humano como de uma "máquina de memes" [30]. Mas o modelo "memético" é caricatural, como o sublinha de sobejo o antropólogo francês Dan Sperber[31]. Essencialmente lamarckiano, ele supõe que a criança não faz senão imitar seu ambiente com uma fidelidade suficiente para assegurar a réplica dos memes e sua estabilidade cultural, à escala de dezenas ou de centenas de anos. Contudo, esta hipótese de uma imitação passiva não resiste à análise. O cérebro não se contenta com copiar o que o rodeia como uma cera virgem. Ele dispõe mais que tudo de uma margem de plasticidade no seio de estruturas fortemente limitadas e irá, então, selecionar, conforme um modo darwiniano, certas representações culturais que o cercam. A hipótese da reciclagem neuronal conduz naturalmente a postular a existência de "atraentes culturais", que explicam a reprodução dos traços principais das culturas humanas e impedem a deriva que não deixaria de se produzir se os humanos não fizessem senão copiar seus vizinhos.

A seleção cultural é amplificada, na espécie humana, por seu caráter intencional. Como o salienta o primatólogo David Premack, o *Homo sapiens* é o único primata capaz de pedagogia, na medida em que só ele presta atenção aos conhecimentos e aos estados mentais do outro com a finalidade de en-

sinar. Não somente transmitimos ativamente os objetos culturais que julgamos úteis, mas – e isso é particularmente evidente no caso da escrita – nós os aperfeiçoamos intencionalmente. Eis que há cinco mil anos, os primeiros escribas descobriram um poder escondido no cérebro humano, o de aprender a transmitir a linguagem através dos olhos. Uma longa cadeia de transmissão intencional nos religa a esses primeiros inventores que trabalharam sem descanso, geração após geração, a fim de tornar essa invenção mais fácil de aprender por nosso sistema visual de primata.

Em definitivo, conforme Dan Sperber, a propagação de uma invenção cultural se assemelha mais a uma epidemia do que a uma imitação. Uma imensa gama de representações culturais nos solicita permanentemente, um pouco como os vírus. Só algumas enraízam na população, porque encontram uma ressonância em nosso cérebro, exatamente como um vírus mutante encontra uma brecha nas defesas do organismo. Propagamos, então, essas invenções novas de indivíduo a indivíduo, de modo ativo e não passivo, intencionalmente, e a uma velocidade recorde tornada possível por uma pedagogia eficaz. As representações vitoriosas são as que encontram no interior da arquitetura do cérebro humano os circuitos suscetíveis de uma reciclagem neuronal eficaz, de modo que elas se integram rapidamente e por longo tempo no seio da memória.

Quando isso se produz, um traço cultural pode se propagar rapidamente até invadir todo um grupo humano. Entra-se num período de estabilidade cultural, até que uma nova invenção venha a lume e desloque de novo o equilíbrio. É assim que nascem, propagam-se e morrem as culturas.

Veremos, em seguida, que a analogia com uma "epidemia cultural" se aplica bem à invenção da escrita, com seu lar primário na antiga Suméria, outros lares na China e na América do Sul e uma propagação seletiva com longos períodos de estase, de bruscas acelerações e mutações. Segundo o modelo proposto, se a leitura consegue tomar posse assim de nosso cérebro, até se tornar um traço essencial de nossa cultura "letrada", é porque ela possui um nicho cerebral na região occípito-temporal ventral esquerda. A capacidade dessa região de reconhecer as palavras resulta de uma dupla evolução:

- no curso da filogênese, portanto, numa escala de milhões de anos, a evolução dessa região cortical para o reconhecimento invariante dos objetos visuais;
- no curso de nossa história cultural dos últimos cinco mil anos, a evolução dos sistemas de escrita a fim de se adaptarem, o mais estritamente possível, a esse nicho cortical.

Nesta hipótese, o córtex occípito-temporal não evoluiu senão para aprender a reconhecer as formas naturais, mas esta evolução o dotou de uma plasticidade tal que ele conseguiu se reciclar para se tornar um especialista da palavra escrita. As formas elementares que esta região é capaz de representar foram descobertas e exploradas por nossos sistemas de escrita.

Não foi, pois, nosso córtex que evoluiu para a leitura – ele não tinha nem o tempo nem a pressão seletiva suficientes. Foram, ao contrário, os sistemas de escrita que evoluíram sob a limitação de facilitarem o seu reconhecimento e aprendizagem por nosso cérebro de primata.

OS NEURÔNIOS DE UM LEITOR

Se nós admitirmos que aprender a ler possibilita a conversão das redes de neurônios, inicialmente dedicadas ao reconhecimento visual dos objetos, resta-nos compreender, em detalhe, como esses neurônios podem se reorganizar para reconhecer em algumas dezenas de ms uma palavra escrita. Num bom leitor, qual tipo de "código neural" está inscrito na área da forma visual das palavras? Existem neurônios especializados para cada letra? Para cada sílaba? Para cada palavra? Como estão eles organizados no espaço do córtex?

Ainda está por descobrir a geografia detalhada dos neurônios do leitor. As técnicas atuais de imagem não permitem descer à escala minúscula do neurônio. Contudo, nosso conhecimento sobre o sistema visual dos outros primatas, na escala celular, é tal que podemos desde já avançar, com prudência, algumas especulações sobre o código neural da leitura. Mesmo se tais modelos teóricos permaneçam com frequência bem aquém da complexidade real do sistema nervoso, eles podem servir de guias para a pesquisa e motivar a invenção de novas técnicas. É neste espírito que com meus colegas Laurent Cohen, Mariano Sigman e Fabien Vinckier propus um esquema sintético da arquitetura dos neurônios da leitura (Figura 3.10)[32].

Este modelo parte do princípio de que o sistema visual ventral está organizado em todos os primatas, sob a forma de uma hierarquia das áreas cerebrais desde o polo occipital até as regiões temporais anteriores. Conforme expliquei acima, de etapa em etapa, o tamanho dos campos receptores aumenta num fator 2 ou 3, enquanto cresce a complexidade das imagens às quais os neurônios respondem, assim como sua capacidade de invariância para o tamanho e a posição.

Região cerebral	Unidade codificada	Tamanho e estrutura do campo receptor	Exemplos de estímulos preferidos
Sulco occípito-temporal esquerdo? (y = -48)	Palavras pequenas e cadeias frequentes (p. ex. morfemas)	ME EN EN NT MN ET	MENT
Sulco occípito-temporal esquerdo? (y = -56)	Bigramas locais		E N En
Área V8 bilateral?	Identidade abstrata das letras		
Área V8 (bilateral)	Forma das letras (numa dada fonte)		E E e
Área V2 (bilateral)	Contornos locais (fragmentos das letras)		
Área V1 (bilateral)	Barras orientadas		
Corpo geniculado (bilateral)	Contraste local		

Figura 3.10 Um modelo hipotético da hierarquia neuronal que permite o reconhecimento das palavras. A cada nível, os neurônios aprendem a reconhecer uma conjunção de respostas dos neurônios do nível imediatamente inferior. Bem embaixo da pirâmide figuram os neurônios detectores do contraste, das barras e contornos, que são partilhados com o reconhecimento das imagens. À medida que avançamos na hierarquia das áreas corticais, aparecem neurônios cada vez mais especializados para a leitura: letras, pares de letras (bigramas), depois os morfemas e palavras pequenas. A cada etapa, o campo receptor aumenta, num fator de 2 ou 3, e a resposta neuronal se torna cada vez menos dependente da posição e das características visuais do estímulo (cf. Dehaene et al., 2005).

Tentemos agora imaginar o que se tornaria esta arquitetura neuronal se ela fosse bombardeada, durante várias horas ao dia, por milhares de palavras escritas e se ela tentasse extrair as regularidades mais salientes. No nível mais baixo, o da área visual primária VI, a maior parte dos neurônios responderia a traços simples. Como descobriram David Hubel e Torsten Wiesel[33] (Prêmio Nobel), cada neurônio, no interior da minúscula zona da retina, que ele examina, prefere ver uma pequena barra mais que qualquer outro estímulo. Como as letras e as palavras são constituídas de tais traços, fazemos a hipótese de que a experiência da leitura não modifica fundamentalmente essa codificação primitiva. O essencial da reciclagem não se situa nesse nível, mas mais adiante, nas re-

giões que codificam as propriedades mais abstratas da cena visual. Contudo, não se pode excluir que a precisão da codificação visual de baixo nível seja aumentada no bom leitor e que certas formas recorrentes como os T e os X sejam já recuperadas nesse nível. Mesmo no adulto, com efeito, a aprendizagem intensiva permanece capaz de modificar a organização das áreas visuais mais precoces[34].

A maioria das formas das letras é provavelmente extraída um pouco mais adiante na hierarquia visual, pelos neurônios das áreas V2 e V4. Combinando várias barras orientadas, os neurônios da área V2, conseguem formar detectores elementares de contornos. Na etapa seguinte (a área V4), essas "combinações de combinações" conseguem representar formas simples, dentre as quais, provavelmente aquelas das letras. Antes mesmo da aprendizagem da leitura, numerosos neurônios codificam já formas em T, L, Y ou X que caracterizam as junções entre os contornos de objetos do mundo natural. A partir deste alfabeto de formas, o reconhecimento das outras letras não será, provavelmente, muito difícil. É possível que a aprendizagem comece nas áreas mais anteriores do córtex temporal ventral (onde Tanaka observou as colunas corticais que codificam as formas elementares no primata), e que ela recue progressivamente em direção às áreas mais precoces, à medida que a leitura se automatize e que nos tornemos capazes de discriminar todas as letras pequenas[35].

Se os neurônios de V4 reconhecem uma conjunção de curvas, é provável que eles não possam representar senão um só contorno, dito de outro modo, uma só forma. Assim, as diferentes formas de uma mesma letra, minúscula e maiúscula, ativam populações de neurônios diferentes. Não é senão na etapa seguinte, ao combinar a ativação de tais detectores, que o sistema visual consegue codificar a identidade abstrata das letras, independente da caixa. Meus colegas e eu postulamos que esta etapa crucial que necessita uma aprendizagem cultural efetua-se na área visual V8, nos dois hemisférios, no local do córtex onde nossas experiências com imagem mostraram uma capacidade de detectar a repetição das letras escritas em maiúsculas e minúsculas.

Lembrem-se de que, a cada etapa, os neurônios ganham em invariância espacial. Ao combinar as respostas de numerosos detectores cujos campos receptores são ligeiramente diferentes, eles se tornam progressivamente insensíveis ao deslocamento ou à mudança de tamanho de sua forma preferida (Figura 3.10, coluna da direita). Contudo, no nível da área V8, os campos receptores permanecem estreitos e a invariância não se estende ainda ao conjunto da retina. Os detectores de letras de-

vem, pois, ser replicados a cada uma das posições onde as letras são suscetíveis de aparecer no curso da leitura. Existem, provavelmente, várias dezenas de detectores da letra "A" que não respondem senão quando a letra favorita ocupa uma posição particular na retina.

OS NEURÔNIOS BIGRAMAS

Qual é a etapa seguinte? Ao combinar os neurônios sensíveis com as letras, devem-se obter células sensíveis às conjunções de várias letras. Um neurônio poderia, por exemplo, assinalar a presença da letra "E", uma ou duas letras à esquerda da letra "N". Seguindo sempre a regra simples de uma multiplicação por dois ou três do campo receptor, poder-se-ia esperar que os neurônios codificassem grupos de uma, duas ou três letras. Contudo, o sistema nervoso deve buscar um compromisso entre a invariância, a seletividade e a necessidade de maximizar a quantidade de informação veiculada por cada neurônio. Um neurônio que respondesse a uma tríade de letras não poderia fazê-lo, nesse estágio, senão numa única posição. Ele não veicularia, pois, senão uma informação muito estreita e útil apenas para algumas palavras – talvez as mais frequentes palavras gramaticais, tais como "o", "a", "os", "as", "um", "um", "que", "eu": serão elas codificadas assim? Inversamente, um neurônio que não codificasse senão a presença de uma só letra em três lugares possíveis seria com frequência ativado, mas perderia toda a informação sobre a posição da letra.

Eis a razão pela qual meu modelo postula que a combinação de letras mais útil à detecção, nesta etapa do tratamento visual, é o bigrama – um par ordenado de letras, por exemplo, "E" à esquerda de "N". Ele prediz, então, a existência de neurônios muito especiais, os "neurônios bigramas", que deverão apresentar a curiosa particularidade de responder a todas as palavras que contenham certo par de letras.

É fácil programar um neurônio a fim de que ele detecte seletivamente tal par de letras, mostrando, contudo, certa tolerância para sua posição exata. Conforme mostra a Figura 3.10, é suficiente colher as respostas de dois conjuntos de neurônios, alguns especializados para a detecção da letra "E", e outros para a letra "N". A sensibilidade à ordem das letras se obtém, arranjando que os neurônios que detectam "E", tenham campos receptores situados à esquerda daqueles que detectam "N". O resultado é um neurônio detector do bigrama "EN", que mostra

uma invariância de posição maior do que cada um dos detectores das letras sobre as quais repousa.

Se eles funcionam assim, os bigramas deveriam possuir uma propriedade curiosa: eles deveriam tolerar a presença de algumas letras quaisquer entre duas letras que eles preferissem. Assim, o detector de bigramas "EN" responderia às palavras "**en**tre", ou "m**en**te", mas também a "l**e**va**n**te", ou "p**e**ga**n**do", nas quais duas letras intrusas escorregaram entre o "e", e o "n". Por que esta tolerância? Ela resulta simplesmente da estrutura dos campos receptores. Para tolerar pequenos deslocamentos da palavra, os neurônios bigramas devem colher respostas de uma gama ampla dos neurônios letras do nível inferior, cujos campos receptores se estendem sobre toda uma porção da retina. Nada impede, então, uma ou várias letras intermediárias de se inserirem no par. Fala-se de um detector de "bigrama aberto".

Ninguém até agora observou neurônios bigramas – eles não são senão construções teóricas sem poderem ser postos diretamente à prova a não ser depois que os métodos de imagem tiverem consideravelmente progredido. Sua existência, no momento, é tão hipotética quanto a do neutrino, esta partícula cuja existência foi postulada por Pauli desde 1930, assinalando, porém, que ela era, em princípio, essencialmente impossível de detectar (isto só acontecerá 20 anos mais tarde). Qual o interesse, você alegará, em avançar tais proposições teóricas se elas permanecem não verificáveis? O que acontece muitas vezes na construção de um modelo são momentos felizes nos quais dos andaimes teóricos que pareciam os mais audaciosos, os mais oscilantes, talvez, se desprenda de repente uma consequência inesperada que retoma o contato com a realidade experimental.

Na ocorrência em exame, aconteceu que, por uma via totalmente independente, dois pesquisadores em psicologia, Jonathan Grainger e Carol Whitney, chegaram a postular que as palavras são codificadas por bigramas[36]. Esses pesquisadores estavam unicamente à procura de um código abstrato que pudesse explicar as medidas de similaridade entre as palavras. Contudo, suas conclusões concordam estreitamente com as de nosso modelo. Como o neutrino, o objeto teórico que é o neurônio bigrama poderia, pois, explicar um bom número de enigmas e jogar uma primeira ponte entre duas disciplinas até então disjuntas, a neuropsicologia e a psicologia da leitura.

Quais são, pois, as observações de Grainger e Whitney? Trata-se de experiências de gatilho (*priming*), nas quais se examina se a apresentação de uma primeira cadeia de caracteres facilita a leitura de uma segunda.

Por exemplo, o fato de ver o estímulo "jardim", facilita a leitura ulterior de "JARDIM", o que indica que essas cadeias partilham o mesmo código (uma representação abstrata comum às minúsculas e às maiúsculas). Contudo, muitos pesquisadores observaram que não era necessário repetir todas as letras para obter uma facilitação. Sabe-se, por exemplo, que a apresentação de um detonador parcial tal como "jrdm" facilita do mesmo modo a leitura ulterior da palavra "jardim" – enquanto um detonador com letras misturadas ou inseridas, tal como em "jtrdvm", "jdrm" ou "dmjr" não produzem nenhum efeito[37]. Isto significa que as cadeias "jrdm" e "jardim" a certa etapa do tratamento visual partilham o mesmo código.

Outras experiências demonstraram que este código resiste parcialmente à transposição local de duas letras. Assim, a cadeia "catra", facilita a leitura da palavra "carta", praticamente tanto quanto a repetição idêntica da mesma palavra[38]. Talvez você nem tenha percebido a transposição em "catra"! Esses efeitos de similaridade abstrata são tão poderosos que poedmos memso reelr fresas itnerias odne as ltears de cdaa plarava froam msiutardas a cdaa psaso, slavo a pmiriera e a útlmia.

Qual código resistiria a uma tal salada de letras? Foi refletindo nesta questão que Jonathan Grainger e Carol Whitney acabaram por propor que o sistema visual dos leitores codifica a posição *relativa* das letras e que ele o faz, repetindo os bigramas. De fato, suas observações experimentais colocam um sério problema aos modelos mais correntes de leitura, que postulam que a entrada visual é codificada por uma tabela simples que fornece a posição absoluta das letras na retina[39]. Nesse caso, não se poderia encontrar mais semelhança entre "carta" e "catra" do que entre "capla" e "carta", nos dois casos, duas letras sobre cinco diferem. Grainger e Whitney ressaltam que as coisas seriam bem diferentes se cada palavra fosse codificada, não pela lista de suas letras, mas pela lista de seus pares de letras ordenadas. A palavra "carta" seria assim codificada por uma lista de 10 bigramas: CA, CR, CT, CA, AR, AT, AA, RT, RA, TA. Transpondo duas letras consecutivas, como em "catra", um só dos bigramas muda (RT se torna TR). Mas 90% do código permanecem os mesmos. Esta similaridade do código explicaria por que se continue a ler a palavra "catra" cujas letras foram transpostas. Quando se inserem letras inapropriadas, o código muda muito mais: a cadeia de letras "capla" não possui senão 30% de bigramas comuns com os de "carta", o que explica que não seja capaz de detonar essa palavra.

Vê-se, do mesmo modo, que, para preservar o código, é melhor transpor ou apagar as letras do que acrescentar falsas. Todos os bigramas

da cadeia "jrdm" são compartilhados com os da palavra "jardim", enquanto menos da metade daqueles de "jtrdvm" é compatível com a mesma palavra. A resistência da codificação dos bigramas ao apagamento parcial e à transposição dá conta de nsosa cpaaicadde de reelr fresas nas qiuas a psoiãço das ltears etsá mdoifiacda.

Outra vantagem da codificação em bigramas: ela é inteiramente insensível às mudanças de posição e de tamanho. Você poderá deslocar as letras, ou aumentar seu tamanho, na palavra "carta", mas o "c" permanecerá à esquerda do "r" e o "r" à esquerda do "t". Isto é, a lista de bigramas não depende absolutamente da posição absoluta das letras. A invariância de posição aí está garantida pela própria estrutura do código empregado.

Na base de todos esses argumentos, Grainger e Whitney propuseram que as palavras escritas fossem codificadas pela lista exaustiva de seus bigramas. Contudo, o código formal esbarra com algumas dificuldades. De início ele prediz que deveria ser fácil ler palavras cujas l e t r a s f o s s e m e s p a ç a d a s, mesmo se estivessem numa forma i rr e g ul a r. Com efeito, esta transformação preserva os bigramas e torna mesmo mais saliente a ordem de suas letras – contudo, essas cadeias são difíceis de ler. Outro problema, a lista de bigramas não está desprovida de ambiguidade: ela não consigna necessariamente um código diferente a cada palavra. As palavras "asas" e "assa", por exemplo, têm a mesma lista de bigramas: AA, SS, AS e SA. Acontece o mesmo com "asso" e "soas" e tantas outras palavras cujas letras são repetidas. Se não codificamos senão bigramas, não deveríamos ser estruturalmente incapazes de distinguir essas palavras? Pior ainda, ortografias improváveis, como "saasasas" não deveriam ser aceitáveis, na medida em que elas têm exatamente a mesma lista de bigramas que a palavra "asas"?

É nesse ponto que a incrementação neuronal vem em ajuda do modelo puramente formal de Grainger e Whitney. Os neurônios bigramas não respondem a seu par de letras favorito em qualquer lugar da retina. Eles são detectores locais, que têm um campo receptor bem definido, e que conservam necessariamente certa seletividade espacial – o que implica que eles sejam replicados em diversos pontos do campo visual. Assim, certos detectores reagirão à presença de "as" no início de "asas", mas não descarregarão se o estímulo for "assa": mesmo se as letras "as" estiverem presentes na ordem correta, elas não caem no campo receptor dos mesmos neurônios. Assim, o modelo neuronal hierárquico consegue consignar um código único a cada palavra.

A hipótese dos detectores locais de bigramas explica igualmente que não se possam descartar as letras sem passar necessariamente pelo reconhecimento visual rápido das palavras. De acordo com a regra de um acréscimo de um fator 2 ou 3 do campo receptor a cada etapa, os detectores de bigramas não podem tolerar senão um deslocamento de duas ou três posições das letras que as compõem (ver Figura 3.10). Isto é, um neurônio bigrama não pode responder a um par de letras a não ser se a letra à esquerda não se distanciar mais do que dois caracteres em relação à da direita. Por exemplo, um neurônio sensível ao par "EN" responderá às palavras "**en**tende", "**e**s**n**obe", "esp**e**ra**n**ça", mas não a "**e**spo**n**ja", ou "**e**sba**n**ja".

Ele codifica uma predição muito simples: se espaçarmos as letras que compõem uma palavra, o código neural deverá resistir a um espaçamento pequeno, depois desabar brutalmente assim que exceder dois caracteres. Fabien Vinckier, Laurent Cohen e eu mesmo verificamos empiricamente esta regra. Assim que o espaço entre as letras ultrapassa dois caracteres, a leitura das palavras cessa brutalmente de ser rápida e paralela[40]. Teste você mesmo essa previsão, tentando ler esse pequeno texto onde o espaçamento das letras aumenta progressivamente. P o r e n q u
a n t o , a l e i t u r a p e r m a n e c e f á c i l . E m b o r a a a p r
e s e n t a ç ã o s e j a i n u s i t a d a , s e u s d e t e
c t o r e s d e b i g r a m a s t o l e r a m f a c i l m
e n t e u m e s p a ç o d o t a m a n h o d e u m a
l e t r a e m e i a . M a s , d e s d e q
u e o e s p a ç o u l t r a p a
s s e d u a s l e t r a s , s e
u d e s e m p e n h o d e s m o
r o n a . A l e i t u r a r á p i d a s e
t o r n a i m p o s s í v e l e v o c ê
s e v e r á s o b a p e l e d u m
l e i t o r i n i c i a n t e - s u a
v i a t e m p o r a l v e n t r a l n ã
o r e s p o n d e m a i s !

A ARBORESCÊNCIA NEURONAL DAS PALAVRAS

Admitamos que existam neurônios detectores de bigramas. Ao que, então, deveriam responder os neurônios da etapa seguinte? Na forma mais natural, a combinações de combinações de letras – isto é, a pequenas cadeias de três a cinco letras que aparecem com frequência na língua escrita. Esses neurônios responderiam, pois, a palavras pequenas ("para", "casa", "come"); aos grafemas complexos ("ch", "ss", "rr"); a sílabas frequentes ("com", "que"), mas igualmente a radicais que ocorrem seguidamente ("faz-", "traz-"), a prefixos ("ante-", "pré-"), ou a sufixos ("-dade", "-ez", "-eiro"). Isto é, espera-se ver emergir, nesse nível, no meio de um vasto conjunto de unidades visuais, uma codificação neuronal dos morfemas, as menores unidades de significado que as palavras contêm.

Contudo, lembremos que, nesta etapa de tratamento, nosso sistema visual ignora o significado das palavras que ele manipula. Ele se contenta com detectar as cadeias de letras que ocorrem com frequência e trazem informação útil ao reconhecimento e à pronúncia das palavras. Assim, o modelo prediz que os "pseudo-morfemas" – cadeias de caracteres que se parecem aos radicais das palavras, mas que não têm, de fato, nenhuma relação com o significado – serão tratados exatamente como morfemas. Isto é, o sistema visual decomporá o verbo "entreter" em "entre-", "t-", "e" e "r", mesmo que esse verbo não mantenha nenhuma relação de significado com o de "posse". Numerosas experiências, tanto com o francês quanto com o inglês demonstraram que tal é o caso: a extração aproximativa das árvores dos morfemas faz parte das etapas automáticas e inconscientes do reconhecimento visual das palavras, de modo que a apresentação da palavra "livro" detona a leitura de "livrar"[41].

Desde o primeiro capítulo, sublinhei que, em nosso sistema visual, cada palavra se comporta como uma árvore cujas folhas são as letras e os galhos, combinações de letras. Esta arborescência da palavra adquire agora um significado bem literal: ela coincide com a árvore anatômica bem real, formada por milhões de neurônios que, desde os detectores de traços elementares até os neurônios sensíveis aos bigramas e aos morfemas, aportam uma pequena pedra ao reconhecimento da palavra. Em nenhum momento, nesta hierarquia, a palavra é representada por um neurônio único. A cada nível, uma população distribuída de células representa, como um quadro pontilhista, a coleção de traços que compõem a palavra. Esta estrutura neuronal, ao mesmo tempo leve e muito estruturada, resiste às mudanças superficiais de forma da palavra. Um deslocamento da palavra na retina age como um golpe de vento que sacudiria todas as folhas da periferia da árvore, mas deixaria intacta a armadura dos galhos grossos e do tronco. É assim que a arborescência neuronal que representa uma palavra dada consegue resistir às mudanças

de posição, de tamanho, de forma e mesmo da ordem das letras que a compõem.

A arborescência neuronal que acabo de esboçar é provavelmente ainda mais simples, comparada à complexidade e à redundância do sistema nervoso. Examinemos, brevemente, alguns dos refinamentos que poderiam ser incluídos num modelo mais completo:

- Em razão da simplicidade, não desenhei senão as conexões excitantes ascendentes que ligam cada região às seguintes. Isto seria esquecer, contudo, que existem, igualmente conexões inibitórias, capazes de assinalar, por exemplo, a ausência de uma letra. É provável que o código neuronal de uma palavra tome em consideração a ausência de certas letras, ou de certos bigramas, tal como o código neuronal do extintor, na experiência de Tanifuji, se caracteriza tanto pela ativação de certas microrregiões quanto pela extinção de outros setores (por exemplo, a região C da Figura 3.7).
- No sistema visual dos primatas se observam igualmente numerosas conexões laterais que ligam os diferentes neurônios no seio de uma mesma área cerebral. Em geral, elas conectam neurônios que codificam objetos compatíveis entre si e se sustêm mutuamente. Esses laços laterais poderiam representar as relações probabilísticas entre as letras. Assim, o fato de em português a letra "q" ser sempre seguida pela letra "u" poderia ser codificado conectando através de laços recíprocos os neurônios que codificam essas letras em posições vizinhas.
- Não esqueçamos que o córtex visual contém igualmente projeções descendentes muito numerosas, que se projetam de uma área cerebral em direção à precedente na hierarquia. Essas conexões poderiam pré-selecionar certas combinações de letras em função do contexto. Elas ajudariam assim a esclarecer certas ambiguidades, particularmente a decifração da escrita manuscrita, na qual é pouco plausível que comecemos a reconhecer cada letra com certeza, antes de reuni-las em palavras. Lembremo-nos do exemplo de

Este pássara verde tem um biea banita

em que as letras "e" e "c" têm a mesma forma, assim como as letras "o" e "a". Em tais casos, a segmentação das letras poderia ser o resultado do reconhecimento visual dos bigramas, ou das palavras: a plausibilidade da palavra "bico" votaria pelo viés das conexões descendentes, para a presença das letras "b", "i", "c" e "o" [42]. Encontra-se aqui a ideia do *pandemonium* de Selfridge, essa reunião de demônios especializados que transmitem, criando, com mais ou menos força, os dados fragmentários de que eles dispõem.

QUANTOS NEURÔNIOS PARA A LEITURA?

Poderia ser feita uma objeção de que o modelo hierárquico proposto conduzisse a uma explosão do número de neurônios necessários à leitura. Com efeito, se for necessário representar a cada etapa todas as combinações possíveis do nível inferior, o número de neurônios requisitados não aumentaria de forma exponencial?

Essa objeção negligencia, contudo, o fato de que, cada vez que um neurônio extrai uma combinação importante de letras, elimina, igualmente, outras distinções que não são pertinentes à leitura. A distinção entre maiúscula e minúscula, por exemplo, cessa de ser efetuada, conforme o modelo, a partir da área V8. Do mesmo modo, ao nível dos neurônios bigramas, o aumento do número de combinações de letras é compensado pela diminuição do número de posições na retina que são codificadas, ligado ao crescimento dos campos receptores dos neurônios.

Não esqueçamos que, no curso da leitura, os movimentos dos olhos conduzem as palavras, numa porção muito restrita do campo visual, próximas à fóvea e, principalmente, à direita do ponto de fixação. É, pois, possível que, no curso da aprendizagem da leitura, só os neurônios que codificam essas posições sejam em parte reconvertidos em detectores de letras ou bigramas. Esta hipótese é reforçada pela observação empírica de que só as palavras apresentadas ao centro ou a alguns graus à direita da fixação e numa orientação próxima da horizontal são lidas pela via occípito-temporal ventral[43].

Sabendo que há 26 letras e uma vintena de posições da retina onde as letras são reconhecíveis, chega-se à cifra aproximada de 500 detectores corticais de letras – um número que, na razão de dez colunas corticais de letras por milímetro quadrado, se posiciona facilmente em meio centímetro quadrado do córtex. Com os neurônios bigramas ocorre o mesmo: supondo-se que só três posições são codificadas (início, meio ou fim das palavras), e sabendo que os 200 bigramas mais frequentes permitem representar a maioria das palavras, chega-se a uma estimativa similar de 600 colunas, ou seja, uma superfície da ordem de 8 x 8 mm

do córtex. Enfim, ao nível das combinações de bigramas, não existe nada de absurdo em supor que uma coleção de em torno 500 prefixos, sufixos, radicais e outros grafemas complexos seja suficiente para representar algumas dezenas de milhares de palavras cuja ortografia nós conhecemos, ou seja, de novo, meio centímetro quadrado do córtex.

Essas ordens de grandeza, embora muito grosseiras, correspondem bem às hipóteses da Figura 3.10: a representação neuronal se desloca em torno de 8 mm para a frente cada vez que progredimos num nível de representação, no seio da hierarquia da forma visual da palavra. A imagem cerebral confirma que a leitura apela para uma banda do córtex que se estende de trás para frente ao longo do sulco occípito-temporal, com alguns centímetros de extensão, e no seio do qual se podem notar subdivisões funcionais de abstração crescente, à medida que progredimos adiante no cérebro[44]. Observem igualmente que essas estimativas não levam em consideração a constatação de Tanaka, segundo a qual, diferentes neurônios podem codificar variantes sutis de uma mesma forma de base, no seio de uma mesma coluna cortical. Se imaginarmos que existem colunas corticais combinatórias, no seio das quais neurônios diferentes codificariam diversas combinações de uma coluna com todas as vogais, como, por exemplo, no francês (ta, te, ti, to, tu, tan, tem, tin, ton...), ou vice-versa (sa, na, ta, ra, la, ca....), a compacidade da representação aumenta outro tanto. São suficientes algumas dezenas de tais colunas corticais para representar a totalidade das palavras escritas.

Tomando menos espaço, essa última solução autoriza igualmente o entrelaçamento das colunas corticais dedicadas à leitura no seio de outras colunas que permaneceriam alocadas ao reconhecimento dos objetos e dos rostos. Tanto a imagem cerebral quanto os registros intra-cerebrais sugerem, com efeito, que as respostas de uma região do córtex não são jamais estritamente categoriais, e que existe sempre uma mistura local, mais ou menos densa, de colunas corticais que respondem a diferentes categorias de objetos visuais[45].

Em resumo, o esquema que propus é inteiramente compatível com o tamanho limitado do córtex alocado ao reconhecimento visual das palavras. A explosão do número de neurônios necessários para a leitura pode ser evitada. É suficiente para tal que os mecanismos de aprendizagem não aloquem neurônios senão às combinações mais frequentes e mais informativas de letras ao nível dos bigramas: por exemplo, devem-se encontrar neurônios que codifiquem o par de letras EN, presente em numerosas palavras do francês e do português, mas não para o par ZH, que não aparece em nenhuma palavra. Uma experiência bem recente com IRM funcional confirma esse viés estatístico na região occípito-temporal esquerda[46]. Esse viés para a representação das combinações frequentes poderia igualmente explicar que a região da forma visual das palavras responda mais às palavras ou pseudopalavras plausíveis como "enfrostar" do que a cadeias aleatórias de consoantes como "gjkmq", das quais a maior parte dos bigramas é muito rara no francês[47] e inexistente no português.

Em todos os níveis, a aprendizagem perceptiva busca combinações de traços que se reproduzem com frequência. Meu modelo supõe que as letras e os bigramas serão automaticamente identificados por esse meio. Contudo, não é impossível que regularidades menos evidentes para nós sejam julgadas mais estáveis ao nível neuronal. Nada permite excluir, por exemplo, que a distribuição particular de traços que se forma na junção de duas letras (o pequeno "x" formado pelas letras p e o em "po") não seja utilizada por certos neurônios:

Oc

EM BUSCA DE UMA SIMULAÇÃO DO CÓRTEX DE UM LEITOR

Em definitivo, não se poderia predizer com precisão ao que deveria assemelhar-se a arquitetura neuronal da leitura, a não ser simulando, através do computador, seus mecanismos de aprendizagem. Um supercomputador seria necessário para simular o efeito sobre milhões de neurônios de horas de exposição à leitura de palavras.

Se dispuséssemos de tal programa, seria fascinante examinar como ele se adaptaria a diferentes sistemas de escrita. Se fosse exposto ao chinês, esperar-se-ia que os neurônios acedessem a certos caracteres frequentes, mas igualmente que eles descobrissem as regularidades internas desses mesmos caracteres. A maior parte dos caracteres chineses é formada por um número relativamente modesto de marcadores semânticos e fonéticos, por seu turno, compostos por uma combinação de traços e curvas estandardizadas – assim como de regularidades estatísticas que a aprendizagem pode espontaneamente extrair. De fato, certos pesquisadores já testaram, com sucesso, a hipótese de que o sistema visual dos leitores chineses funciona assim por uma recomposição hierárquica e combinatória dos caracteres[48].

Mesmo no seio das escritas alfabéticas, a regularidade da língua deveria se refletir no tamanho das unidades ortográficas codificadas pelos neurônios do córtex temporal ventral. As línguas cuja ortografia é regular e transparente, como o italiano e o português brasileiro, não têm necessidade senão de um repertório limitado de detectores de letras e de bigramas. As línguas cuja ortografia é opaca como o inglês, ou, em medida menor, como o francês, necessitam de um repertório mais vasto de neurônios a fim de codificar unidades ortográficas tão complexas como "eau", "oux" ou "tion"[49]. Essas regularidades visuais de ordem superior, que ultrapassam o nível das letras, não podem ser extraídas senão por neurônios relativamente avançados na hierarquia temporal. Espera-se, pois, que a leitura faça apelo a regiões corticais ventrais mais estendidas e situadas mais adiante nos leitores do inglês que naqueles do italiano. É exatamente o que Eraldo Paulesu e seus colegas observaram com a imagem cerebral[50]. Do mesmo modo, no japonês, as diferenças sutis da ativação cerebral, entre a escrita kanji (altamente irregular e que requer a memorização de milhares de caracteres), e a escrita kana (regular e que utiliza apenas 46 caracteres), podem se explicar pela aprendizagem de repertórios visuais de tamanho e de complexidade interna radicalmente diferentes[51].

OS VIESES CORTICAIS QUE LIMITAM A LEITURA

Resta um último enigma: por que a aprendizagem da leitura converge sistematicamente para a mesma região do córtex, seja qual for o sistema de escrita? Por que a região da forma visual das palavras se separa, pelo menos no plano macroscópico, das outras regiões consagradas aos rostos e aos objetos? Por que se encontra, em todos os indivíduos, no mesmo sulco occípito-temporal? E por que no hemisfério esquerdo?

Para tentar compreender a localização reproduzível da leitura, é necessário lembrar-se de que o córtex visual está estruturado desde o nascimento. Embora seja dotado de uma margem importante de adaptação, será totalmente falso pensar que ele funcione como barro virgem sobre o qual as aprendizagens as mais diversas se imprimam[52]. Se tal fosse o caso, deveríamos, com efeito, surpreender-nos ao ver o mosaico cortical se organizar espontaneamente em regiões reproduzíveis de um

indivíduo a outro. Na realidade, a leitura repousa sobre um sistema antigo, que conserva em seu seio os traços de sua história evolutiva. Os limites aí são tais que só uma pequena região está adaptada à arte da leitura. Os neurônios desta região aí possuem verossimilmente propriedades intrínsecas de sensibilidade à fóvea, de projeção em direção às áreas da linguagem e, talvez, de outras ainda, tornando-os particularmente aptos à decifração da escrita.

Um primeiro limite foi recentemente identificado por Uri Hasson, Rafi Malach e seus colegas do Instituto Weizmann[53]. Com a imagem cerebral, eles mostraram que o conjunto do sistema visual ventral é atravessado, em cinco ou seis centímetros, por um vasto gradiente de preferências da retina (Figura 3.11). Cada ponto do córtex visual, mesmo bastante distante da área visual primária, possui uma preferência por uma posição na retina. Nos dois hemisférios, as regiões laterais preferem os estímulos visuais fins, apresentados na proximidade da fóvea, enquanto as regiões próximas do centro do cérebro respondem preferentemente à configuração global, portanto, à periferia do campo visual.

Não se conhece ainda a origem desse gradiente, mas seu tamanho imponente e seu aspecto contínuo evocam o gradiente de expressão de um "morfógeno", uma dessas substâncias químicas que supomos implicadas no posicionamento do plano geométrico fundamental do organismo no curso da embriogênese[54]. A ideia de base, que data de Alan Turing, é a de que, difundidas através dos tecidos, a partir de uma região delimitada, essas substâncias poderiam indicar, por sua concentração variável, a orientação dos grandes eixos de coordenadas do corpo e de seus órgãos. Suponhamos, por exemplo, que um fator químico seja mais fortemente concentrado no centro do cérebro do que em seus bordos, e suponhamos que sua concentração module a capacidade dos neurônios de receber as entradas dos bordos da retina. Obter-se-ia então uma rede com viés genético, que trata mais precisamente dos estímulos visuais dos bordos do cérebro do que do seu centro – justo o que demonstrou Uri Hasson.

Seja o que for, qual é a relação entre esse gradiente de periferia da retina e a leitura? Uri Hasson observou, igualmente, em todos os indivíduos, que a região da forma visual das palavras aterrissa num setor bem preciso do mapa visual, caracterizado por sua preferência pela fóvea. A região dos rostos, também, apresenta um viés pela fóvea, enquanto a região que codifica as casas e as cenas do exterior prefere a periferia do campo visual.

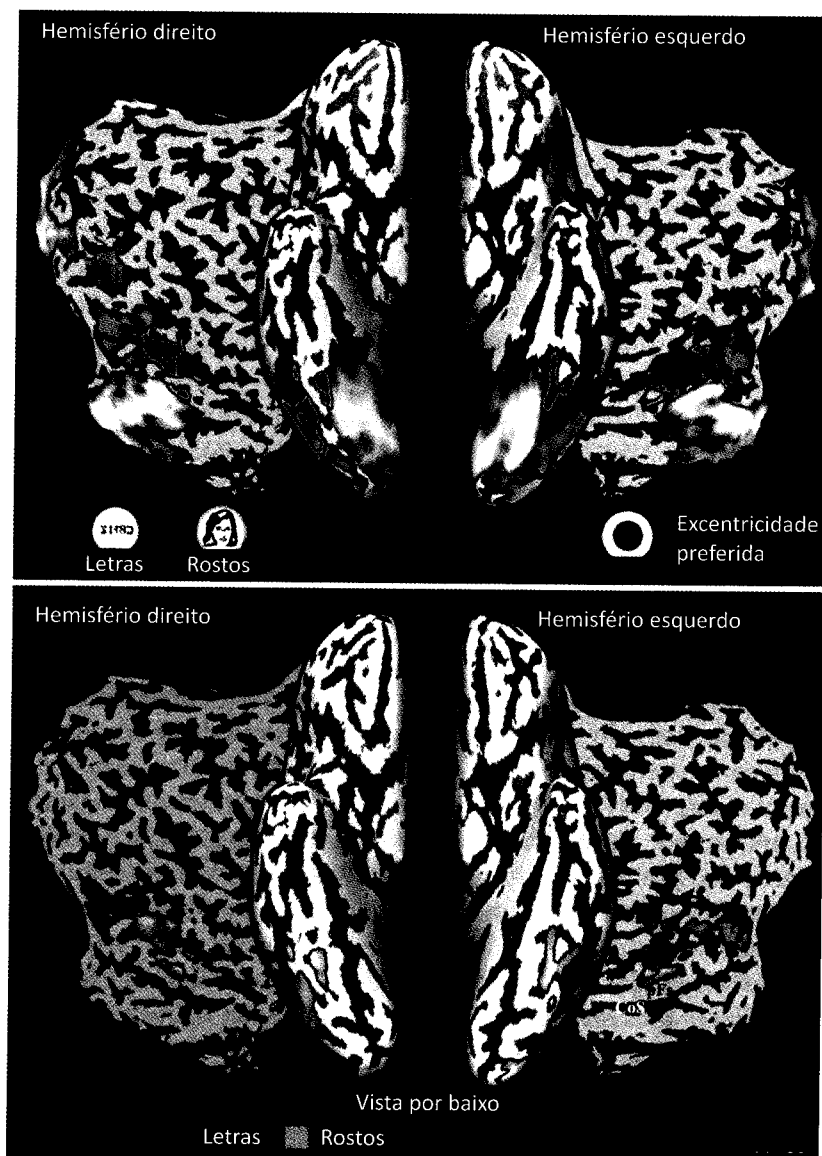



Figura 3.11 Vastos gradientes de especialização cortical poderiam explicar por que a região de reconhecimento das palavras se encontre sempre no mesmo ponto do córtex. Um vasto gradiente atravessa o conjunto do córtex visual ventral (ao alto): as regiões laterais respondem melhor às imagens apresentadas ao centro da retina, isto é, a fóvea, enquanto as regiões situadas no centro do cérebro respondem melhor às imagens apresentadas à periferia da retina. A leitura e o reconhecimento dos rostos que necessitam todas as duas uma análise minuciosa de detalhes falham nos territórios corticais dedicados à fóvea, que é a zona mais precisa da retina (embaixo) (cf. Hasson et al., 2002).

Um cenário epigenético simples emerge. Desde o nascimento, os neurônios das porções laterais do córtex temporal ventral apresentariam um viés: as entradas sinápticas os tornariam mais aptos a responder aos estímulos finos apresentados à fóvea. Esses neurônios seriam então selecionados, de preferência a outros, para a codificação visual das palavras, porque essas últimas requerem uma grande precisão. Assim, poderíamos explicar por que a posição lateral desta região seja reproduzível de um indivíduo a outro. O gradiente de preferência da retina forneceria um dos eixos de um sistema de coordenadas que, em virtude de preferências inatas, definiria esse ponto preciso do córtex como o mais apto a responder às exigências da leitura.

Quais poderiam ser os outros limites que fixariam a posição desta região conforme os dois outros eixos de coordenadas? Já encontramos um segundo gradiente inato ântero-posterior que define o nível hierárquico onde se situa cada região na pirâmide das áreas visuais (Figura 3.5). As regiões mais anteriores do córtex visual preferem os objetos complexos e estruturados: quanto mais nos aproximamos do polo occipital, mais colunas corticais respondem aos fragmentos elementares da imagem, até os neurônios da área visual primária que respondem a barras simples[55]. Desse ponto de vista, a região da forma visual das palavras ocupa, como seria de esperar, uma região relativamente anterior e estendida, cuja parte posterior responde às letras simples enquanto mais à frente mostra respostas cada vez mais invariantes e estruturadas[56].

Uma terceira fonte de viés provém das diferenças entre os dois hemisférios. Por que a leitura recruta sistematicamente a região occípito-ventral esquerda, enquanto os rostos aterrissam de preferência na região direita? Este desvio de simetria poderia ter uma origem visual: é bem conhecido que o sistema visual do hemisfério esquerdo é melhor para a discriminação de pequenas formas locais, enquanto o direito prefere as formas globais[57]. Outro fator poderia ser a lateralidade da linguagem verbal que, desde o nascimento, recruta de preferência as regiões temporais e frontais do hemisfério esquerdo. Pode ser que a aprendizagem da leitura selecione as regiões visuais cujas projeções em direção às áreas da linguagem verbal são as mais numerosas e as mais diretas, portanto, as mais rápidas. A região occípito-temporal esquerda seria naturalmente a melhor candidata, uma vez que a região direita apresentaria um sério *handicap*: para se reunir às áreas da linguagem verbal, seus axônios deveriam efetuar uma longa volta, através do viés do corpo caloso.

No modelo hierárquico da Figura 3.10, sugiro que a lateralidade à esquerda do reconhecimento visual das palavras se produza de modo

progressivo. As regiões de baixo nível devem ser bilaterais: uma vez que seus campos receptores são pequenos, os neurônios de cada hemisfério respondem às letras apresentadas na parte oposta do campo visual. Contudo, à medida que progredimos em direção à frente do córtex, portanto, em direção ao alto da hierarquia, os campos receptores se ampliam. Começam, pois, a existir, nos dois hemisférios, neurônios capazes de reagir aos estímulos tanto apresentados à esquerda quanto à direita. Minha proposição seria que a cada vez que existe assim uma redundância entre os dois hemisférios na codificação das palavras, os vieses visuais ou linguísticos fazem com que seja o hemisfério esquerdo o que vença. Assim, encontraríamos, à medida que progredimos na hierarquia, cada vez mais neurônios especializados para a leitura no hemisfério esquerdo.

Resumamos. Conforme a hipótese proposta, não existe uma área cerebral pré-programada para a leitura. Contudo, numerosos vieses inatos conferem a cada setor do córtex qualidades e defeitos que lhe são próprios: tal setor está em contato direto com as entradas visuais, tal outro está mais afastado na hierarquia, este codifica as entradas com uma alta precisão espacial, aquele integra as entradas de uma vasta região da retina... No curso da aprendizagem, a leitura aterrissa muito simplesmente no lugar do córtex onde se encontram os neurônios mais bem adaptados a esta tarefa. Nos humanos, a intersecção dos gradientes de preferência inata faz com que seja sempre a mesma região do córtex que responda ao apelo – o córtex occípito-temporal esquerdo.

O que se passaria se esta região cessasse de estar disponível? Outros neurônios visuais, levemente menos eficazes, assumiriam o circuito. Meu colega Laurent Cohen e eu mesmo tivemos a oportunidade de testar esta hipótese numa jovem leitora. Com a idade de 4 anos, com o fito de curar uma epilepsia dramática, esta menina submeteu-se a uma ablação cirúrgica da região occípito-temporal esquerda. Assim, a região que nos serve a todos para reconhecer as palavras escritas lhe faltava totalmente. Contudo, ela aprendeu a ler de modo essencialmente normal: só as medidas cronométricas muito finas mostravam que sua leitura era um pouco mais lenta, em apenas algumas dezenas de ms. Quando nós a escaneamos, com a idade de 11 anos, compreendemos como ela conseguia ler tão bem. Embora suas áreas da linguagem falada tivessem permanecido com uma lateralidade forte no hemisfério esquerdo, ela reconhecia as palavras escritas com a ajuda das áreas visuais direitas. Melhor, as palavras escritas ativavam uma região exatamente simétrica àquela que encontramos numa pessoa normal: no sulco occípito-temporal lateral, na boa posição, tanto sobre o eixo lateral quanto sobre o eixo ântero-posterior (Figura 3.12) [58]. A região da forma visual das palavras havia simplesmente mudado de hemisfério!

Lesão cirúrgica praticada com a idade de 4 anos

Rede da leitura observada com a idade de 11 anos

Deslocamento da área da forma visual das palavras

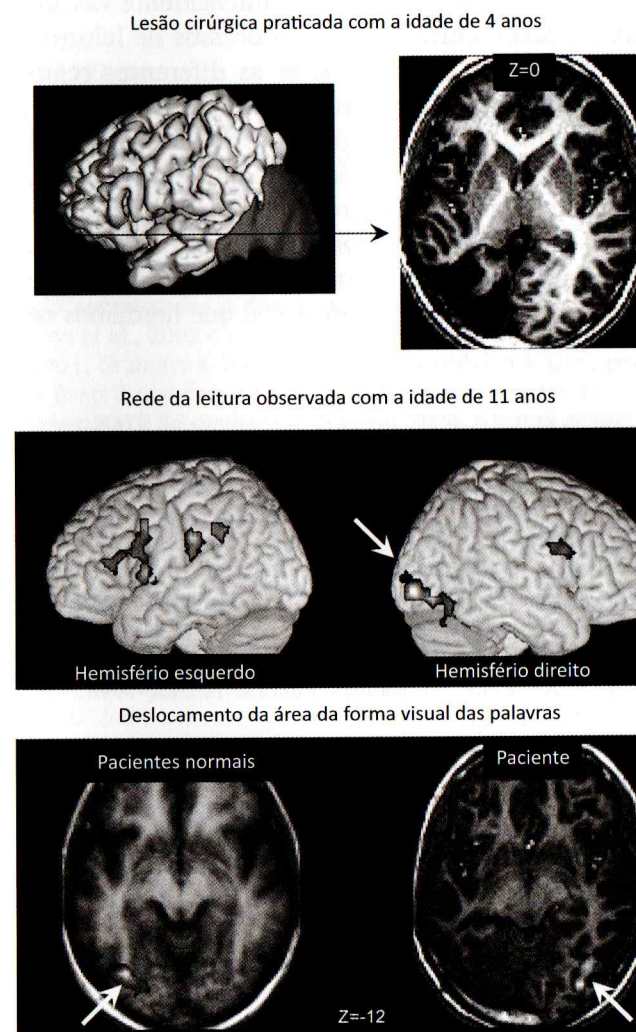



Figura 3.12 No curso do desenvolvimento, as redes da leitura são mais flexíveis que no cérebro adulto. Numa jovem paciente, com a idade de 4 anos, a área normalmente destinada ao reconhecimento visual das palavras, na região occípito-temporal esquerda, foi retirada em consequência de uma intervenção cirúrgica (lesão visível nas imagens ao alto). No adulto, tal lesão tornaria o paciente gravemente aléxico. Contudo, esta jovem menina aprendeu a ler sem grande dificuldade. Sete anos mais tarde, a rede da leitura funciona normalmente, mas a área ativada para a visão das palavras se deslocou para o hemisfério direito, no ponto exatamente simétrico à sua posição usual.

Outros pesquisadores observaram uma ativação da mesma região occípito-temporal direita numa criança "hiperléxica", dotada de uma precocidade notável para a leitura[59]. Nós a vemos igualmente em certos pacientes aléxicos que se recuperaram de um acidente vascular na região visual esquerda[60]. Sua contribuição aos processos de leitura não é, pois, tão excepcional. Tudo se passa como se as diferentes regiões corticais estivessem ordenadas por vieses intrínsecos numa espécie de lista de espera. Se, no curso da aprendizagem, a primeira região, em princípio ótima, não estiver mais disponível, a segunda na lista – que parece ser a região simétrica do hemisfério direito – entra então em jogo.

Não saberíamos ilustrar melhor que a leitura não dispõe de um módulo cerebral pré-programado – aproveitando o pau para toda a obra, ela reconverte uma parte da hierarquia neuronal que herdamos de nossa evolução.

NOTAS

1 Kluver & Bucy, 1937.
2 Mishkin & Pribram, 1954.
3 Lissauer, 1890; Goodale & Milner, 1992.
4 Humphery & Weiskrantz, 1969; Weiskrantz & Saunders, 1984.
5 Desimone & Gross, 1979; Schwartz, Desimone, Albright & Gross, 1983; Perrett, Mistlin & Chitty, 1989; Tanaka, 1996; Tamura & Tanaka, 2001; Tanaka, 2003.
6 Sary, Vogels & Orban, 1993; Ito, Tamura, Fujita & Tanaka, 1995.
7 Vogels & Biederman, 2002.
8 Tanaka, 2003.
9 Logothetis, Paul & Poggio, 1995; Booth & Rolls, 1998.
10 Quiroga, Reddy, Kreiman, Koch & Fried, 2005.
11 Rolls, 2000.
12 Grill-Spector et al., 1998; Lerner, Hendler, Ben-Bashat, Harel & Malach, 2001; Vuilleumier, Henson, Driver & Dolan, 2002.
13 Thoerpe, Fize & Marlot, 1996.
14 Riesenhuber & Poggio, 1999; Van Rullen & Thorpe, 2002.
15 Tanaka, 2003.
16 Tsunoda, Yamane, Nishizaki & Tanifuji, 2001.
17 Ito & Komatsu, 2004.
18 Brincat & Connor, 2004.
19 Biederman, 1987.
20 Biederman, 1987.
21 Biederman & Bar, 1999.
22 Vogels, Biederman, Bar & Lorincz, 2001.
23 Miyashita, 1998; Logotheis et al., 1995.

24 Baker, Biederman & Olson, 2002.
25 Gould & Marler, 1987.
26 Miyashita, 1998; Sakai & Miyashita, 1991.
27 Gould & Vrba, 1982.
28 Jacob, 1997.
29 Dawkins, 1989.
30 Blackmore, 1999.
31 Sperber, 1996; Sperber & Hirschfeld, 2004.
32 Dehaene et al., 2005. Esse modelo generaliza certas hipóteses propostas pela primeira vez por Mozer, 1987, no quadro de uma simulação informática explícita.
33 Hubel & Wiesel, 1970.
34 Sigman & Gilbert, 2000; Sigman et al., 2005.
35 Uma região próxima da área V4 é ativada pela cadeia de letras, mais que por quadrados, rostos ou casas, particularmente no hemisfério esquerdo quando as palavras são apresentadas à direita; vejam-se Cohen et al., 2000; Cohen et al., 2002; Hasson et al., 2002 e a Figura 3.11.
36 Whitney, 2001; Grainger & Whitney, 2004; Schoonbaert & Grainger, 2004.
37 Humphery, Evett & Quinlan, 1990; Peressotti & Grainger, 1999.
38 Perea & Lupker, 2003; Schoonbaert & Grainger, 2004. A leitura de palavras cujas letras foram misturadas foi objeto de numerosos rumores que circularam na Internet. Para uma discussão aprofundada, consulte-se o *site* do psicólogo Matt Davis da *University of Cambridge*: http://www.mrc-cbu.cam.ac.uk~mattd/Cambridge/
39 McClelland & Rumelhart, 1981; Grainger & Jacobs, 1996; Ans et al., 1998; Zorzi et al., 1998; Harm & Seidenberg, 1999; Coltheart et al., 2001; Perry et al., 2007.
40 Vinckier et al., 2006.
41 Rastle et al., 2000; Longtin et al., 2003.
42 Reicher, 1969; Spoehr & Smith, 1975; Rumelhart & McClelland, 1982.
43 Bouma, 1973; Lavidor et al., 2001; Nazir et al., 2004; Vinckier et al., 2006.
44 Dehaene et al., 2004.
45 Allison et al., 1994; Allison et al., 1999; Haxby et al., 2001; Grill-Spector et al., 2006.
46 Binder, Medler, Westbury, Libenthal & Buchanan, 2006.
47 Cohen et al., 2002.
48 Ding et al., 2004.
49 Ziegler & Goswami, 2005.
50 Paulesu et al., 2000.
51 Ha Duy Thuy et al., 2004; Nakamura et al., 2005.
52 Quartz & Sejnowski, 1997.
53 Levy et al., 2001; Hasson et al., 2002; Malach et al., 2002.
54 Turing, 1952.
55 Grill-Spector et al., 1998; Lerner et al., 2001.
56 Dehaene et cols, 2004.
57 Ver por exemplo Kitterle & Selig, 1991; Robertson & Lamb, 1991.
58 Cohen, Lehéricy et al., 2004.
59 Tukeltaub et al., 2004.
60 Cohen et al., 2003.

4

A invenção da leitura

Se a arquitetura do cérebro afeta a maneira pela qual lemos, deveríamos encontrar seu traço na história comparada dos sistemas de escrita. Efetivamente, a despeito de sua aparente diversidade, todos os sistemas de escrita compartilham numerosas similitudes que se explicam pela maneira como os neurônios do córtex occípito-temporal representam as informações visuais. De um modo mais geral, a história da invenção da escrita se esclarece sob um enfoque novo à luz das neurociências. Retraçando esta história, aí vemos a humanidade na busca incessante de uma notação escrita sempre mais eficaz que se curva aos limites de sua organização cerebral. Não é, pois, nosso cérebro que evoluiu para a escrita, mas, sim, a escrita que se adaptou a nosso cérebro.

> *Devo, sim, dizer que existia próximo de Náucratis, no Egito, um dos antigos deuses desse país a quem os egípcios dedicaram o pássaro que chamam íbis; esse demônio leva o nome de Theuth; foi ele quem inventou os números e o cálculo, a geometria e a astronomia, o triquetraque, os dados e, enfim, a escrita.*
>
> Platão, *Fedro*

A ideia de que a escrita seja um dom de Deus aos homens figura entre os "arquétipos" da humanidade, esses temas que, por razões desconhecidas, ressurgem em todas as regiões do mundo. Para os babilônios, todos os conhecimentos mágicos, dentre os quais os da escrita provinham do deus Ea, senhor de toda a sabedoria. Na Assíria, reverenciava-se Nabu, filho de Marduk, por haver ensinado a toda a humanidade todas as artes e técnicas, desde a arquitetura até a escrita. Para os hindus é Ganesh, o deus

da sabedoria, com cabeça de elefante, quem foi o inventor: ele quebrou uma de suas defesas para dela fazer um lápis! A Bíblia faz eco a esta tradição: Deus enviou a Moisés, para que ele as transmitisse ao conjunto da humanidade, as tábuas da lei, escritas com Sua própria mão.

O poder da escrita é verdadeiramente mágico – não porque ela seja um dom divino, mas porque ela amplia consideravelmente as competências de nosso cérebro. Envaidecidos pelas conquistas de nossa cultura, esquecemos de nos admirar com que um simples primata, *Homo sapiens*, primo próximo do chimpanzé, pudesse aumentar assim sua memória pelo viés de alguns traços sobre o papel. Esta transformação estava longe de estar inscrita na ordem das coisas. É uma feliz fortuna que disponhamos de uma rede cerebral que religa precisamente as áreas visuais com as da linguagem e que possa se readaptar ao uso das letras. Essa reconversão é estreitamente limitada: só um circuito bem localizado parece possuir as características ótimas. Ainda mais, ele não se modifica muito, porque conserva a maior parte das características herdadas de sua longa evolução. A inércia biológica conserva, pois, o domínio sobre as inovações culturais.

Se adotarmos a hipótese da reciclagem neuronal, tal como proponho, a história da escrita, assim como as dificuldades de sua aprendizagem deveriam refletir os limites de nosso cérebro. Agora, quando compreendemos melhor quais mecanismos neuronais tornam a leitura possível, poderemos lançar alguma luz sobre sua invenção e sua aprendizagem? Como os homens descobriram que sua região occípito-temporal poderia se readaptar a fim de veicular a fala através dos olhos? E como esse processo de reconversão se repete no cérebro de cada criança que aprende a ler?

Nos próximos três capítulos, tentarei responder a essas questões, examinando, sucessivamente, três consequências simples da hipótese da reciclagem neuronal.

- A primeira concerne à evolução da escrita: se nossa organização cerebral impõe limites às variações culturais, deveríamos observar, através do conjunto dos sistemas de escrita que a humanidade inventou, numerosas características comuns que reunissem as restrições de nosso aparelho cerebral.
- A segunda consequência concerne à evolução das competências humanas: à medida que nossa cultura se alfabetizou, a competição, no seio do cérebro, entre esta função cultural nova e as funções mais antigas, herdadas de nossa evolução, não ocasionou a perda de certas competências, por exemplo, no reconhecimento visual de certas categorias de objetos?

- Enfim, a terceira consequência concerne à aprendizagem da leitura pela criança: sua eficácia deve depender do grau de reconversão neuronal necessária assim como da adequação do método de ensino à estrutura preexistente de nossas redes cerebrais.

OS TRAÇOS DE PARENTESCO DOS SISTEMAS DE ESCRITA

– Façamos uma serpente para o ruído sss [diz Taffy]. Com este aqui consigo? E ela desenha isto:

– Lá, diz ela, eis outro segredo surpresa, quando vocês desenharem uma serpente assobiadora perto da porta de sua pequena gruta dos fundos onde vocês acomodam os arpões, eu saberei que vocês estão dando um duro e eu entrarei de mansinho como um camundongo. E se vocês o desenharem sobre uma árvore, na beira do rio quando estiverem pescando, eu saberei que é para me dizerem para caminhar mais leve ainda que um camundongo a fim de não fazer com que o rio trema.
– Perfeitamente verdadeiro, diz Tegumaï. E há neste jogo mais do que tu pensas. Taffy querida, eu tenho em mente que a filha de teu papai colocou o dedo na coisa mais bela que jamais foi inventada desde que a tribo de Tegumaï substituiu o sílex pelos dentes de tubarão para suas pontas do arpão. Creio que nós descobrimos o grande segredo do mundo.

Rudyard Kipling, *Como se fez o alfabeto*
(Tradução do francês Comment s' est fait
l'alphabet por R. D'Humières e L. Pabulet1)

De onde provém a forma de nossas letras? Cada cultura não deve sua escrita senão a uma "história como essa" à Kipling? A forma dos caracteres não resulta senão das contingências da história, ou apresenta igualmente certos traços universais, reflexos de nossa arquitetura cerebral? À primeira vista, a diversidade das escritas do mundo oferece uma resposta sem apelo (Figura 4.1). O que há de comum entre o redondo das línguas indianas, o rigor geométrico das maiúsculas gregas, as sequências de curvas e de pontos do árabe e a diversidade dos caracteres chineses com os parcimoniosos traços de pincel confinados num quadrado virtual?

Grego
α β γ δ ε ζ η θ ι κ Α Β Γ Δ Ε Ζ Η Θ Ι Κ
Cirílico
а б в г д е ж з и ф А Б В Г Д Е Ж З И К
Armênio
Ա Բ Գ Դ Ե Զ Է Ը Թ Ժ Ի Լ Խ Ծ Կ Հ Ձ Ղ Ճ Մ
Hebraico
א ב ג ד ה ו ז ח ט י ך כ ל ם מ ן נ ס ע ף פ
Árabe
Hieróglifos
Devanagárico (Índia)
अ आ इ ई उ ऊ ऋ ऌ ऍ ऑ क ख ग घ ङ द ध ल व ह
Bengali (Índia)
অ আ ই ঈ ঋ ঌ এ ও ক খ গ ঘ ঙ ছ ঞ ট ঠ ণ ত থ
Oriya (Índia)
Tâmil (Índia)
Tailandês
ก ข ค ฅ ฆ ง จ ซ ฑ ด ถ ท ธ บ ผ ภ ร ล ศ ไ ๆ แ
Hangul (Coreia)
Kana (Japão)
ア イ オ ケ コ サ ス シ タ ツ テ ナ ハ フ カ モ エ ヶ
Chinês

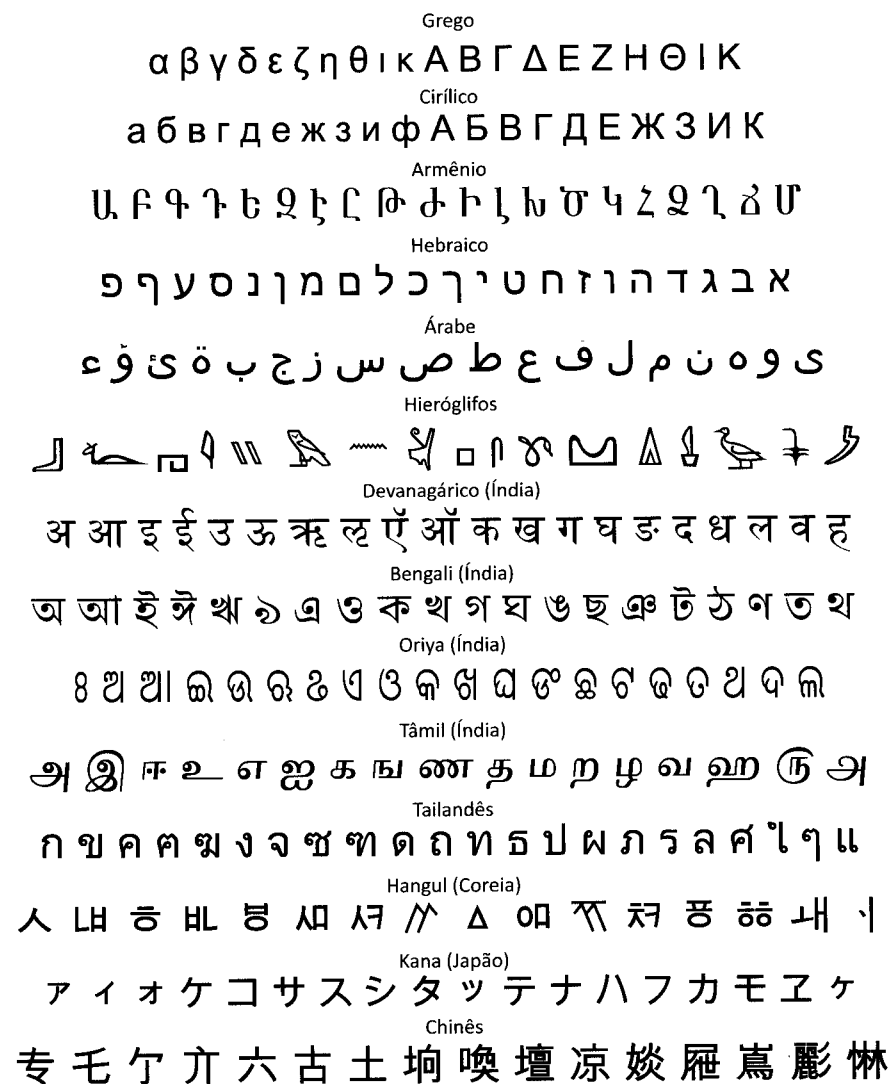



Figura 4.1 Para além da diversidade de suas formas de superfície, os diferentes sistemas de escrita não compartilham numerosos traços?

A hipótese da reciclagem neuronal prediz, contudo, que a inventividade humana deva ser limitada pela organização de seus circuitos cerebrais. Ela se opõe, a esse respeito, ao relativismo cultural, segundo o qual nossas capacidades de aprendizagem são tão vastas que as variações culturais são potencialmente ilimitadas. Se a reciclagem neuronal apresenta

um fundo de verdade, nosso envelope genético deve restringir o conjunto dos objetos culturais acessíveis. Esta predição deve nos conduzir a um reexame da abrangência da diversidade cultural: para além das variações superficiais mais evidentes, deveríamos encontrar mais estruturas compartilhadas do que as que nos sugere um exame sumário[2].

Reexaminemos com este novo olhar a diversidade dos sistemas de escrita. Uma observação mais atenta revela numerosos traços comuns:

- Todos os sistemas de escrita apresentam à fóvea da retina uma alta densidade de traços contrastantes, com frequência, negros sobre fundo branco: esta apresentação otimiza verossimilmente a quantidade de informação que nossa retina e nossas áreas visuais podem transmitir a cada fixação.
- Todos os sistemas de escrita utilizam um pequeno repertório de formas de base, cuja combinatória hierárquica gera sons, sílabas e palavras. Os caracteres chineses e os kanji japoneses não são exceção: mesmo que sejam em número de vários milhares, cada caractere combina dois, três ou quatro formas de base, por seu turno, constituídas de alguns traços de base. Esta organização hierárquica se ajusta estreitamente à pirâmide das áreas corticais que compõem nosso sistema visual cujos neurônios utilizam um princípio combinatório similar a fim de reconhecer unidades de tamanho e de invariância crescentes.
- Todos os sistemas de escrita consideram como adquirido que o tamanho e a posição absolutos dos caracteres não têm importância – e nenhuma cultura deve ensinar explicitamente esse fato às crianças: todas nascem com um córtex visual capaz da invariância da translação e de talhe. Todas as culturas, do mesmo modo, tratam a invariância por rotação de modo diferente: os caracteres devem sempre ser orientados no mesmo sentido. Sem dúvida, os escribas de todos os países assinalaram o custo suplementar que imporia o reconhecimento da escrita não importa qual fosse o ângulo: nosso córtex visual deveria dedicar neurônios a cada uma das visualizações separadas por um ângulo de mais de 40 graus.
- A maior parte dos sistemas de escrita, enfim, denota, por um lado, elementos de som e de significados, como se seus inventores tivessem implicitamente observado que as conexões do córtex visual ventral lhe permitissem servir de plataforma giratória e alimentar ao mesmo tempo as regiões temporais superiores médias e anteriores associadas à semântica das palavras. Existe, contudo, uma fonte de variação entre os sistemas de escrita (veja-se a Figura 2.20). Embora exista sempre uma correlação entre o escrito e o oral, o tamanho da unidade sonora representada pode ir da palavra à sílaba toda inteira, até o fonema ou mesmo até o traço fonético isolado[3]. A fisiologia cerebral não prescreve nada sob seu domínio, mas a escolha que for feita limita, em retorno, o número de símbolos requisitados.

O NÚMERO DE OURO DA ESCRITA

Marc Changizi e seu colega Shinsuke Shimojo, do Instituto Californiano de Tecnologia, chegaram mais longe na análise das regularidades da escrita. Eles estudaram em detalhe a organização visual de cada um dos caracteres de 115 sistemas de escrita de todos os estilos e de todas as épocas, desde o linear B da antiga Creta ao rúnico, passando pelo etrusco, ou pelo alfabético fonético internacional[4]. Primeira regularidade maior que o leitor verificará facilmente na Figura 4.1: quase todos os caracteres são formados por ao redor de três traços (as curvas, que podemos desenhar sem abaixar nem levantar o lápis), com uma variabilidade muito fraca: pense-se em nossas letras T ou P (dois traços), F ou N (três traços), M ou W (quatro traços). Se um sistema de escrita necessitar de mais caracteres – no etrusco se contam 23, o alfabeto fonético os desdobra em 170 –, os novos caracteres são formados, criando-se novos traços de base, a fim de conservar sempre em torno de três traços por caractere. O alfabeto fonético, por exemplo, utiliza os caracteres ɕ, ɝ, ɲ, ɷ, ʆ, et, ʉ: vê-se que eles não são mais complicados que nossas letras, mas que ele utiliza outras curvas de base.

De onde provém esse número mágico, em torno de três traços por caractere? Ele corresponde à taxa de crescimento da complexidade dos neurônios do córtex visual: temos visto que, a cada etapa, o campo receptor aumenta num fator 2 ou 3, enquanto ao mesmo tempo crescem a invariância e o tamanho das unidades representadas. Assim, cada caractere teria uma forma essencialmente ótima para ser facilmente reconhecível por um neurônio único do córtex temporal ventral, como uma combinação de duas, três, ou quatro curvas do nível inferior.

Seria mesmo tentador prolongar a análise de Chanzigi e Shimojo a outros níveis. A um nível mais baixo na hierarquia visual, seria plausível que os traços fundamentais fossem reconhecidos como a conjunção de dois, três ou quatro segmentos de direita. A um nível mais alto, ao menos nas escritas

alfabéticas, constata-se que a maior parte das unidades compostas de várias letras – radicais de palavras, prefixos, sufixos, desinências gramaticais – constitui-se sempre não mais do que de duas, três, ou quatro letras de extensão. O mesmo no chinês: a maioria dos caracteres é formada pela combinação de dois, três ou quatro marcadores semânticos e fonéticos. No plano visual, todos os sistemas de escrita parecem, pois, fundados sobre uma grande pirâmide hierárquica cujo número de ouro é 3, mais ou menos 1.

SIGNOS NATURAIS E SIGNOS ARTIFICIAIS

Segunda regularidade maior, igualmente descoberta por Marc Changizi: as configurações dos traços que formam os caracteres são reproduzíveis. Em todos os sistemas de escrita, sua frequência segue uma lei universal que reproduz aquela que podemos observar na natureza[5].

Para compreender esta lei, examinemos juntos como os diferentes traços se articulam no seio de um caractere. Dois traços podem formar um T, um L, ou um X; três traços podem formar numerosas configurações como F, K, Y, ou o Δ.

De onde provém esta distribuição universal? Ela não é, em absoluto, o resultado do azar: se jogarmos sobre um plano os segmentos da direita, suas intersecções não serão repartidas conforme a distribuição observada por Changizi. Em revanche, encontra-se esta distribuição quando se analisam as estatísticas das imagens do mundo exterior, sejam elas cenas da natureza ou da vida urbana. Quando vários objetos se combinam, se mascaram ou se superpõem, seus contornos formam configurações características nas quais dominam as formas simples como o T, ou o L. O X não é tão frequente, salvo quando um traço fino passa à frente de outro contorno. O Δ é mais raro ainda nas cenas naturais. Quando se compilam centenas de imagens, o número de configurações de cada tipo que se observa correlaciona muito estreitamente com a distribuição universal dos símbolos escritos (Figura 4.2).

Em todas as culturas do mundo, os usuários da escrita escolheram, pois, ao longo dos anos, os caracteres cujas formas se assemelham àquelas que observamos na natureza. É provável que eles tivessem agido assim porque, conscientemente ou não, eles observaram que essas formas são mais fáceis de ler. É exatamente isto que incita a pensar na hipótese da reciclagem neuronal: as culturas selecionam os objetos cuja aprendizagem requeira o mínimo de reconversão cerebral. Ao longo de milhões de anos

de evolução, assim como no curso de nossos primeiros anos de vida, nosso sistema visual se adaptou às estatísticas das imagens naturais, de modo que os neurônios detectassem as configurações características. Em consequência, em todo o planeta, quando se tem a ideia de transcrever a língua oral, os homens convergem, através de ensaio e erro, em direção às formas características das "protoletras", que, verificamos, já estão codificadas no mais profundo do córtex temporal ventral dos primatas[6].

Figura 4.2 Por trás da aparente diversidade dos sistemas de escrita se escondem regularidades universais, profundamente ancoradas em nosso córtex visual. Marc Changizi demonstrou, assim, que todos os sistemas de escrita, sejam eles alfabéticos, silábicos ou logográficos, apelam para um conjunto de conFigurações de traços, cujas frequências seguem um perfil universal (ao alto). As configurações mais frequentes são, igualmente, aquelas que se encontram mais frequentemente nas imagens naturais (abaixo) e que são, pois, verossimilmente codificadas pelos neurônios do córtex temporal inferior antes mesmo de que aprendamos a ler (cf. Changizi et al., 2006).

Em definitivo, a análise dos sistemas de escrita do mundo sublinha, com grande força, que sua forma não resulta de uma escolha cultural arbitrária. O problema da comunicação escrita é de tal modo limitado no plano cerebral que não deixa lugar ao relativismo cultural. Nosso cérebro de primata não admite senão um pequeno jogo de formas escritas.

GRUTAS ORNADAS E PRIMEIRAS ESCRITAS

Como a humanidade descobriu que poderia reciclar uma parte de seu sistema visual para "gelar a fala" através do escrito? Emprestemos, por alguns instantes, o procedimento do historiador ou do paleoantropólogo e retracemos, em algumas grandes linhas, forçosamente esquemáticas, a história desta grande invenção que é a escrita. Veremos que todas as revoluções mentais que ela suscitou podem ser relidas à luz da hipótese da reciclagem neuronal.

As mais antigas grutas ornadas – a gruta de Chauvet, por exemplo, que data de 33.000 anos antes de nossa era – apresentam já formas muito sofisticadas de arte gráfica. Muito cedo, pois, os primeiros *Homo sapiens* descobriram que poderiam evocar sobre o osso, a argila ou a parede de uma gruta, a imagem reconhecível de um objeto ou de um animal – e que o simples traçado do contorno era suficiente.

É uma descoberta que poderia parecer sem importância, mas que, na realidade, joga um papel essencial na invenção da escrita. Graças a ela, não é necessário reproduzir em três dimensões a forma que almejamos evocar, nem é necessário pintar a superfície em duas dimensões (mesmo se nossos ancestrais tenham igualmente descoberto bem depressa todo o proveito que podemos tirar dessas artes que chamamos hoje de escultura e pintura). Alguns traços da mão são suficientes para traçar o contorno que o olho reconhece imediatamente como um bisão ou um cavalo. Podemos ver aí uma primeira manipulação, é evidente, estritamente empírica, do homem sobre seu sistema nervoso. A maior parte das células da retina é insensível à gradação das cores, mas responde ao contraste, seja esse evocado por um simples traço ou pela juntura de duas superfícies. Por meio da gravura e do desenho, a humanidade inventa uma primeira forma de "autoestimulação" de seu sistema visual.

Uma tradição antiga aceita que a escrita encontra sua origem nesta representação pictográfica das formas. O artigo "Escrita", constante na *Enciclopédia* de Diderot e d'Alembert, já o exprime, então, claramente:

> Esta maneira de comunicar nossas ideias através de marcas e através de figuras consistiu desde o início em desenhar muito naturalmente as imagens das coisas; assim, para exprimir a ideia de um homem ou de um cavalo, representou-se a forma de um ou de outro. O primeiro ensaio de escrita foi, como se vê, uma simples pintura; soube-se pintar antes de se saber escrever.

Esta ideia simples se defronta, contudo, com uma realidade arqueológica mais complexa. Na maior parte das grutas ornadas, os desenhos realistas de animais coabitam com um conjunto rico de formas não figurativas: séries de pontos, traços paralelos, tabuleiros, traços abstratos... Contrariamente ao que afirmam os enciclopedistas, o simbolismo parece, pois, tão antigo quanto o desenho. A forma dos primeiros símbolos apresenta um parentesco com a de nossas letras: seria fascinante examinar, pela análise distribucional de Chanzigi, se o homem de então já havia identificado os símbolos mais fáceis de reconhecer.

De uma antiguidade pelo menos tão remota, foram encontrados ossos gravados com séries regulares de marcas que apresentam parentesco com os calendários ou com as prestações de contas. Todos esses símbolos manifestos, mesmo que não sejam decodificáveis hoje, assinalam-nos que o homem que os gravou não era diferente de nós: dotado do mesmo cérebro, capaz de linguagem e de ideias abstratas, ele necessariamente tentou, por meios certos ainda frustros, exprimi-los com o mesmo escopo que as imagens concretas.

Entre os possíveis precursores da escrita, citemos, do mesmo modo, essas mãos pintadas em positivo ou em negativo que esmaltam numerosas paredes ornadas. Seus dedos aparecessem com frequência truncados. Automutilação, doença? Ou mais verossimilmente, talvez, um código simbólico? Certas configurações de dedos retornam mais vezes, com uma distribuição que poderia seguir a dos animais pintados sobre as mesmas paredes[7]. Poderia tratar-se de uma língua gestual de caça que indicaria a natureza, os movimentos ou o número de presas. Hoje ainda, certas populações de caçadores-coletadores utilizam tais gestos para se comunicar em silêncio, sem alertar sua caça. A presença das mãos sobre as paredes gravadas refletiria então uma dupla reconversão simbólica: a associação arbitrária de um gesto manual a um objeto ou a uma ação e depois a fixação simbólica desse gesto sobre a parede.

SOBRE A COMPATIBILIDADE COM A ESCRITA

Em *Gesto e a Palavra*, André Leroi-Gourhan sublinha a importância que a língua e a tradição oral deveriam jogar na "leitura" dos afrescos em paredes:

> A arte figurativa está, na origem, diretamente ligada à linguagem e muito mais próxima da escrita num sentido mais amplo do que da obra de arte. Ela é a transposição simbólica e não calco da realidade. [...] Para o signo como para a palavra, o abstrato corresponde a uma adaptação progressiva do dispositivo motor de expressão às solicitações cerebrais cada vez mais nuançadas. De modo que as figuras mais antigas conhecidas não representam as caças, os animais moribundos, ou as cenas familiares tocantes: são articulações gráficas sem elo descritivo, suportes de um contexto oral irremediavelmente perdido. [...] São na realidade "mitogramas", algo mais aparentado com a ideografia do que com a pictografia, mais à pictografia que à arte descritiva. [...] Sob esta forma, a ideografia é anterior à pictografia e toda arte paleolítica é ideográfica.

Ele acrescenta igualmente essas considerações cruciais:

> É fácil, por outro lado, conceber um sistema que alinha três traços e o desenho de um boi, sete traços e o de um saco de grãos. Nesse caso, a fonetização é espontânea, a leitura adequada inevitável. É, provavelmente, a única forma de pictografia que existiu na origem da escrita. Dificilmente ela teria nascido se não tivesse podido confluir imediatamente com o sistema ideográfico preexistente[8].

Na Mesopotâmia – o atual Iraque – berço da primeira escrita conhecida, a simbolização dos números parece, com efeito, ter jogado um papel essencial na emergência de um autêntico código escrito[9]. As escavações arqueológicas revelam, na verdade, em numerosos sítios datando de até 8.000 anos antes de nossa era, a presença de pequenos objetos de argila com formas abstratas: cones, cilindros, esferas, semi-esferas, tetraedros, etc.

Para Denise Schmandt-Besserat, sua função não causa nenhuma dúvida: são *calculi*, pequenos marcadores que serviam para a computação e para o cálculo. Alguns representavam a unidade, outros, os múltiplos de bases aritméticas de 10 e 60 (10, 60, 600, etc.). Esse sistema contábil estaria em uso no Oriente Médio durante ao menos cinco milênios de 8.000 a 3.000 a.C. Vemo-lo aparecer em Susa, ao redor de 3.300, uma forma de transição muito interessante: os mesmos *calculi* são reagrupados em bolsinhas ocas de argila que trazem séries de entalhes: nalguns casos, o número desses entalhes corresponde exatamente ao número dos *calculi* presentes no interior. Progressivamente, esta escrita simbólica toma o que está sob o conteúdo do envelope, o qual não serve senão como testemunho da justeza da conta. Os contadores neolíticos se dão conta de que a escrita de um número seguido do símbolo do objeto ("vinte cabeças de gado", por exemplo) é suficiente para transmitir a mensagem desejada.

A contagem, desta vez no contexto do cômputo do calendário, parece ter jogado um papel similar na emergência independente da escrita nas civilizações pré-colombianas da América do Sul. Desde 2000 antes de nossa era, os olmecas utilizam símbolos gravados ou "glifos" para representar as unidades de tempo: dias, anos, ciclos diversos... Os zapotecas, por volta de 600 antes de nossa era, ampliam esse sistema, acrescentando-lhe outros signos para as datas, os lugares e os personagens implicados em diversos acontecimentos históricos.

Assim, de acordo com a interpretação de André Leroi-Gourbanm a codificação das ideias abstratas, muito em particular a dos números, parece ter jogado um papel essencial desde todas as primeiras etapas da emergência da escrita e, talvez, na ideia mesma de que os conceitos possam ser escritos. Os primeiros símbolos escritos são raramente pictográficos: são com frequência formas geométricas simples.

Contudo, o vocabulário visual dessas formas é limitado. Assim, na antiga Suméria, como no Egito, a pictografia aparece, ao menos transitoriamente, como uma maneira simples de enriquecer o léxico das formas escritas. Seu interesse está numa legibilidade imediata: não há necessidade de aprender a ler, todo o cérebro normal pode reconhecer na imagem de uma espada o símbolo do trigo.

É fascinante constatar que as primeiras escritas apelavam, para os signos escritos, ao conjunto das formas simples que os fisiologistas associaram às representações neuronais localizadas no córtex temporal ventral. Tudo se passa como se a evolução cultural, antes de descobrir a pequena região do córtex capaz de associar as palavras aos sons e aos significados, explorasse sistematicamente o espaço das representações do córtex visual. Os hieróglifos egípcios, em particular, constituem um verdadeiro catálogo dos estímulos capazes de ativar o mosaico dos neurônios do córtex occípito-temporal: animais ( ), objetos e utensílios ( ), partes do corpo ( ), personagens em atividade ( ) e figuras geométricas sim-

ples (⊏⊐ ∆ —) [10]. É interessante, nesse contexto, notar que os inventores da escrita parecem ter espontaneamente evitado duas grandes categorias de imagens que, contudo, são bem representadas no córtex visual. A primeira é a dos lugares, construções e paisagens. Há raros exemplos nos hieróglifos (inserir figuras), mas estilizados a ponto de não evocarem nenhuma sensação de espaço ou profundidade. A outra categoria pouco explorada é a das faces: só os maias parecem ter pensado em apresentar bochechas inchadas diferentes para simbolizar sílabas:

Sobre a superfície cortical, lugares e faces ocupam áreas amplas e bem diferenciadas, mas distantes da área da forma visual das palavras e das regiões da linguagem verbal: a região cortical que responde aos lugares está próxima da linha mediana do córtex temporal ventral, enquanto a área das faces se encontra principalmente no hemisfério direito. Será que os primeiros escribas constataram sua eficácia menor para estabelecer uma conexão com as áreas da linguagem? A ausência quase total de faces nos signos da escrita poderia ser então interpretada como uma nova prova indireta de que a evolução da escrita leva em consideração os limites da arquitetura do cérebro.

OS LIMITES DA PICTOGRAFIA

Na quinta *Enêade*, onde ele comenta o *Fedro* de Platão, citado na epígrafe, o filósofo neoplatônico Plotino exibe uma admiração infinita pela escrita egípcia:

> Quando os egípcios queriam exprimir um significado, eles zombavam alegremente das letras, das palavras e das frases. Eles não empregavam o sistema de representação dos sons de uma frase, nem de sua pronúncia. Em sua escrita sagrada, eles desenhavam os signos, cada um para cada ideia, de sorte que exprimiam com um só golpe a totalidade do significado. Cada signo distinto constituía sozinho um pedaço de saber, uma parcela de sabedoria, um elemento da realidade imediatamente presente. Nenhum processo de raciocínio era necessário e nenhuma decifração era laboriosa. [11]

Plotino se enganava redondamente. Se os caracteres imagéticos da escrita egípcia permitissem acessar imediatamente o significado como uma história em quadrinhos, não teríamos que ter esperado por Champollion para decifrá-los. A ideia de uma língua visual universal, que todos os homens poderiam decifrar sem esforço de aprendizagem, não passa de uma utopia. Na evolução da escrita, a etapa pictográfica foi tão breve que se pode até duvidar de sua existência. De saída, a escrita serve para denotar ideias abstratas. Para tal, ela deve adotar convenções que requerem uma longa aprendizagem. A escrita e a leitura se tornam rapidamente a arte de uma elite.

Quais eram, com efeito, os problemas com os quais eram confrontados os escribas? A primeira dificuldade era a de escrever rapidamente. Em certas tumbas egípcias, nas quais se consagravam semanas às escritas sagradas, os hieróglifos eram verdadeiras obras de arte de esculturas em alto ou em baixo relevo. No dia a dia, contudo, os egípcios dispunham de outra escrita manuscrita rápida e simplificada, a demótica. Em todas as regiões do mundo onde a escrita se disseminou, aparece uma estilização que induz uma passagem rápida da pictografia até um jogo de caracteres convencional.

Os sumérios, por exemplo, escreviam cravando uma ponta de madeira, o cálamo, na argila mole. Sua escrita é chamada de "cuneiforme" porque ela combina ao infinito a única forma que lhes era fácil de traçar: um fino entalhe em forma de cunha. Assim, foram levados a criar dezenas de caracteres fixos cujas cunhas estilizam o desenho até torná-lo irreconhecível (Figura 4.3). O símbolo para a extensão da água, por exemplo, que era inicialmente composto por duas vagas superpostas, transformou-se numa grande cunha com duas pequenas, uma pura convenção gráfica que cada escriba passou a ter que memorizar.

O chinês conheceu uma evolução similar: mesmo se o caractere "cavalo" ([illegible]), tal como podemos ver nos oráculos da dinastia Shang (1000 antes de nossa era), se assemelhe inicialmente a este quadrúpede, rapidamente ele se depurou e se fixou. Hoje, seria bem esperto quem reconhecesse a imagem de um cavalo no caractere (馬) que encontrou sua forma definitiva desde o século III e ainda se simplificou recentemente para (马). Estima-se que só 2% dos caracteres chineses atuais conservam um conteúdo pictográfico reconhecível[12].

É na estilização, que conheceram todas as grandes civilizações de escrita, que está a origem da ortografia. Ortografar é, literalmente, "desenhar direito". Tanto é verdade que a escrita repousa sobre o desenho,

que sua forma pode variar livremente. A partir do momento quando os caracteres de escrita se tornam arbitrários, não existe senão uma boa maneira de desenhá-los, uma só "ortografia".

Um segundo fator afasta a escrita da pictografia: a dificuldade de representar ideias abstratas. Como desenhar a liberdade, o senhor e o escravo, a vitória, um deus? As associações de ideias realizarão com frequência o trabalho. Na escrita cuneiforme, a divindade é uma estrela; dar a luz se escreve desenhando um pássaro e um ovo; uma ração se exprime por um rosto de perfil, cujos lábios tocam numa vasilha. É claro que esse código não é compreensível senão pelos iniciados.

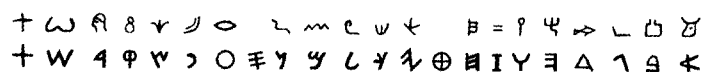
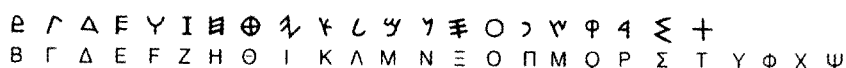



Figura 4.3 Convenção e simplificação são fatores essenciais da evolução da escrita.

No sumério (ao alto) os primeiros caracteres convencionais na pictografia, com frequência, reconhecíveis evoluem rapidamente em direção a símbolos abstratos, sob a restrição de serem unicamente traçados com a ajuda de glifos em forma de "cunhas" sobre a argila mole. Do mesmo

modo, a escrita protossinaítica (no centro), seleciona um jogo restrito de imagens convencionais para representar as consoantes das línguas semíticas; quando da adoção pelos fenícios e gregos, essas formas se simplificam ainda mais, girando de 90 a 180 graus, sob a influência da mudança de direção da escrita, para se tornarem as letras do alfabeto. Cada uma dessas letras, tal como a letra A (abaixo), pode ser vista como o resultado de um processo de evolução cultural, que simplifica tudo, conservando um núcleo de forma facilmente reconhecível pelos neurônios de nosso córtex temporal inferior.

Outra astúcia consiste em explorar as sonoridades com a ajuda de pequenos jogos de palavras, conforme o princípio do *rébus*. Para escrever uma palavra abstrata cujo conteúdo for impossível de desenhar, emprestam-se uma ou várias outras palavras cujas sonoridades imitam o som desejado. Assim, os escribas sumérios imaginaram que a palavra "vida", *til*, poderia ser representada por uma flecha, que se pronunciava *ti*[13]. Progressivamente, o significado dos signos se apagou enquanto sua sonoridade adquiriu uma importância crescente. Na Suméria, o desenho de uma planta, palavra que se pronunciava *mu*, foi de início adotado para representar *mu*, um ano, depois *mu*, um substantivo, depois palavras gramaticais tais como o possessivo *mu*, = "meu", antes de ser, enfim, considerado como a representação da sílaba *mu* no início ou no final de não importa qual palavra.

Pela via do *rebus*, os egípcios, como os sumérios, chegaram, progressivamente, a um jogo completo de símbolos capazes de transcrever o conjunto de sons de suas línguas. Assim, os egípcios dispunham daquilo que temos o costume de denominar o "alfabeto hieroglífico", uma trintena de caracteres que representavam todas as consoantes de sua língua. Foi esse sistema que serviu para transcrever certos nomes próprios como "Alexandre" ou "Cleópatra", cuja simplicidade permitiu a Champollion "romper" o código dos hieróglifos. Os sumérios dispunham de um jogo de caracteres claramente mais amplo que representava todas as sílabas de sua língua (todas, combinações de uma só vogal [V] ou de uma vogal rodeada de consoantes [CV, VC ou CVC]. Os dois povos praticamente tocaram com o dedo o princípio alfabético.

Contudo, nem os egípcios, nem os sumérios chegaram a extrair essa joia pura do sistema de escrita, no seio da qual ela havia nascido. Apesar de que a estratégia do *rebus* lhes houvesse permitido escrever tudo, continuaram a empregar como complemento desses signos fonéticos, um vasto aparelho suplementar de pictogramas. A mistura dos dois

sistemas, um baseado sobre o significado, o outro, sobre os sons, criou uma grande ambiguidade. Como um leitor poderia saber, vendo uma estrela, se o escriba queria dizer "Deus", "estrela", ou simplesmente as sonoridades correspondentes dessas palavras? Com o passar dos anos, parece-nos evidente que os escribas poderiam ter chegado a simplificar consideravelmente sua escrita, escolhendo não denotar senão os sons da língua. Contudo, a evolução cultural é, muitas vezes, de uma inércia imensa e não toma decisões racionais. Egípcios e sumérios seguiram o declive natural da complexidade. Durante muitas centenas de anos, longe de simplificar sua escrita, essas duas civilizações acrescentaram outros marcadores a fim de contornar as ambiguidades. Nos caracteres cuneiformes, por exemplo, vimos aparecerem os caracteres denominados "determinantes", cujo papel era o de especificar o campo semântico do caractere que eles acompanhavam. Eles indicavam a categoria à qual essa palavra se referia: cidade, homem, pedra, madeira, Deus, etc. Assim o caractere "charrua", acompanhado do determinante "madeira", indicava que desejávamos fazer referência ao objeto charrua; o mesmo caractere, acompanhado do determinativo "homem", indicava que estávamos falando de um trabalhador. Os determinativos ajudavam também a precisar o significado de uma palavra escrita em notação silábica, que poderia ter vários homófonos.

É impressionante constatar que a escrita egípcia adotou quase exatamente a mesma solução: um sistema sofisticado de determinativos incluía categorias complexas tais como homem, água, fogo, planta, ação, ou mesmo, "conceito abstrato". Em definitivo, cada palavra terminava por ser representada por uma mistura, com graus diversos, de elementos de pronúncia, de categoria semântica e de significação explícita. Tomemos como exemplo o verbo "sair". Essa palavra, que se pronuncia *pe*, se escrevia com três signos:

- uma casa, cuja pronúncia fonética também era *pe*;
- uma boca, cuja pronúncia fonética era *r* (confirmando que o símbolo de casa deveria ser lido por sua pronúncia e não por seu significado);
- e, enfim, um par de pernas, determinativo que exprimia a ideia de movimento[14].

Uma lógica muito similar parece ter governado a evolução dos caracteres chineses. Também eles compuseram elementos subsidiários que indicam com frequência um fragmento de significado e um elemento de pronúncia. Assim, o caractere para "o nascer do sol", que se pronuncia *qing*, se compõe de "sol" e "verde"; o primeiro é um elemento semântico, e o segundo se pronuncia *qing* e confere essa pronúncia ao conjunto.

Essas combinatórias podem parecer barrocas, mas, depois de tudo, elas são tão diferentes da que devemos escrever em "eu caminha**va**, um merca**do**, caminha**r**", ou ainda, em "selo, sela, sala, sol, solo"? Em nossa língua, do mesmo modo, empregamos convenções ortográficas a fim de contornar a ambiguidade da notação dos sons.

Por que tal escrita mista "morfofonológica" foi tão frequentemente adotada? Por que ela parece atrair de modo duradouro as culturas humanas? Vejo aí o reencontro de vários limites, ligados a nossa memória, à nossa língua, assim como à conectividade de nosso cérebro. Por um lado, um sistema puramente "picto" ou "logográfico", onde cada palavra possuiria seu próprio símbolo, seria impossível de memorizar num tempo razoável, sabendo que cada um de nós domina umas 50.000 palavras. Um sistema combinatório, baseado sobre os fonemas é, pois, indispensável. Inversamente, a notação apenas de sons não é suficiente: na maior parte das línguas, existem tantos homófonos, como "à" e "a", "caça" e "cassa", que a escrita fonológica pura sofreria imensas ambiguidades e se tornaria comparável à paciente decodificação de um *rébus* – éla sería pôkefikáS. O melhor compromisso parece, pois, consistir num sistema misto, que misture os elementos fonológicos com os do significado.

Resta ainda que esse sistema seja fácil de aprender pelo cérebro do escriba. Sem dúvida, a conectividade particular da região occípito-temporal ventral joga um papel preponderante: ao projetar em direção às regiões temporais médias e frontais que codificam a significação das palavras, mas também em direção às regiões temporais superiores, responsáveis pela análise auditiva e em direção ao córtex frontal inferior esquerdo, implicado na articulação, esta região visual serve de pivô capaz de distribuir as informações fonológicas e semânticas da escrita. Se esta conectividade não pré-existisse em todos os seres humanos, sem dúvida, nossos predecessores sumerianos ou egípcios teriam que ter inventado um código visual totalmente outro.

UMA GENIAL SIMPLIFICAÇÃO: O ALFABETO

Desde sua invenção, o "vírus do alfabeto" se disseminou rapidamente em numerosas culturas. Sem dúvida, ele encontrou no cérebro

humano um terreno favorável para sua aprendizagem. Contudo, em cada sociedade, a epidemia restou limitada a um pequeno grupo de especialistas. A "virulência" desta invenção restava com brida curta em virtude de sua complexidade. Estima-se, assim, que o sumério possuísse inicialmente 900 signos, número que se reduziu ao redor de 500, à medida que os caracteres foram destituídos de seu significado, em proveito de uma escrita cada vez mais silábica. Do mesmo modo, o escriba egípcio deveria ingurgitar, no decurso de uma longa aprendizagem, pelo menos 700 signos. Na China contemporânea, trata-se de muitos milhares de caracteres que o letrado chinês deve aprender – a taxa de iletrismo entre os adultos se estabeleceu, aliás, aproximadamente em torno de 80% nos anos de 1950, antes que uma simplificação radical e um esforço de educação colossal reduzissem essa cifra em torno de 10%.

Para que o vírus da escrita se torne pandêmico, é necessário que ele mude. Como no caso da evolução biológica, esta mutação – o princípio alfabético – emergiu de populações situadas na margem das culturas estabelecidas, lá onde as inovações são mais susceptíveis de se manter. Os primeiro traços de uma escrita alfabética datam de 1.700 anos antes de nossa era. Eles foram encontrados na península do Sinai, nas vizinhanças das minas de turquesa exploradas pelos faraós do Médio e Novo Império – mesmo se esse deserto não tenha sido confirmado, indubitavelmente, como o lugar de sua invenção, que ainda não foi determinado. A escrita protossinaítica retoma as formas de alguns caracteres egípcios, mas ela se serve deles para registrar outra língua da família das línguas semíticas. Os signos não são mais utilizados para denotar as significações, mas somente as sonoridades e unicamente das consoantes. Assim, o repertório dos símbolos é drasticamente reduzido: uma vintena de signos é suficiente para representar os sons, com uma regularidade perfeita.

Como esta notável invenção germinou? Este momento da história parece haver apresentado uma oportunidade particular de invenção cultural. Por um lado, ao adaptar a escrita a uma nova língua, os inventores tiveram a possibilidade de instituir de novo, um sistema de escrita racional. Eles se inspiraram, sem dúvida alguma, nas escritas egípcias e cuneiformes que os cercavam, mas a ocasião era ideal para se libertarem do peso da história para extrair princípios mais simples. Foi nesse momento que os escribas repudiaram o princípio de uma escrita ideográfica, cujos caracteres denotam, sob uma forma imagética, o significado das palavras, para se concentrar exclusivamente sobre o registro abstrato das raízes e dos sons da língua[15].

As línguas semíticas, às quais se vinculam o hebraico e o árabe, apresentam, por outro lado, uma morfologia particular que facilita, por certo, a invenção do princípio alfabético. Essas línguas privilegiam as consoantes: as raízes de numerosas palavras nelas são expressas por uma grade fixa de consoantes, enquanto as vogais são susceptíveis de variar mais livremente. Por exemplo, no hebraico, a raiz *gdl*, que significa "grande", se declina como *gadol*, "grande" (masc.), *gdola*, "grande" (fem.), *giddel*, "elevar", *gadal*, "crescer", *higdil*, "aumentar", etc. Os inventores da escrita protossinaítica exploraram esta particularidade. Eles compreenderam que a escrita poderia se contentar com registrar a grade abstrata dos sons que compõem a raiz das palavras. Não seria, pois, necessário conceber um inventário de centenas de sílabas que integrassem sua língua. Para que a leitura abrangesse o essencial da mensagem, era suficiente registrar as consoantes e, para fazê-lo, um pequeno léxico visual de uma vintena de formas era suficiente.

Como essas formas foram escolhidas? Selecionaram simplesmente algumas palavras fáceis de representar por um desenho esquemático que começassem pela consoante desejada. Assim, conforme o princípio acronímico, a consoante *b* é representada pelo desenho de uma casa, denominada como *beth* na maior parte das línguas semíticas (e que conferirá o nome da letra "beta" no grego). Do mesmo modo, o golpe da glote, uma consoante das línguas semíticas, representada por uma apóstrofe ' que inicia a palavra *alef* ("touro"), é representada na escrita protossinaítica por uma cabeça de touro. Esta forma estilizada se tornará a letra alfa α, depois nosso A, no qual ainda podemos reconhecer, com uma rotação de 180°, o triângulo da cabeça e os dois chifres do animal: ∀. Eis porque as letras do alfabeto grego possuem nomes curiosos (alfa, beta, gama, delta...): são simplesmente os nomes semíticos de uma vintena de imagens que deram a nossas letras sua forma, seu nome e a pronúncia de sua primeira consoante.

É emocionante reconhecer em cada uma de nossas letras um pequeno desenho simplificado que data de vários milhares de anos: o "m" simboliza as ondas na superfície das águas (*mem* ou *mayyūma*), o "n", uma serpente (*nahaššu*), o "l" , um ferrão (*lamed*), o "k", a palma da mão (*kaf*), o "r", a cabeça (*resh*).

É igualmente fascinante ver a evolução cultural seguir o mesmo caminho que o do neurofisiologista Keiji Tanaka: simplificar um desenho para não conservar senão os elementos essenciais da forma (comparem-se as Figuras 3.6 e 4.3). Desde os primeiros artistas que desenharam em

Lascaux as cabeças muito realistas de um touro até os escribas do Sinai, que reduziram esta cabeça a uns poucos traços, enfim, até os escrivães fenícios e gregos que extraíram dali a forma da letra A, a escrita evoluiu em direção a um jogo de caracteres simplificados, susceptíveis de serem imediatamente reconhecidos pelos neurônios especializados do córtex occípito-temporal ventral esquerdo. Por tentativas, ao longo de seleções sucessivas impostas pelas passagens de geração a geração, a evolução cultural convergiu em direção a esse pequeno repertório de formas cuja presença universal Marc Changizi demostrou nas imagens naturais, e que se mostraram as mais fáceis de serem reconhecidas por nosso sistema visual.

Com o alfabeto, a escrita, enfim, se democratizou. Não era mais necessário investir anos de aprendizagem para pertencer, enfim, à casta invejada dos escribas. Qualquer pessoa motivada poderia aprender a ler e a escrever a vintena de caracteres do alfabeto. A eficácia da transmissão cultural do vírus da escrita se viu multiplicada. Essa foi a razão de a invenção do alfabeto ter-se expandido e ter conhecido uma destinação a todo o planeta. Em Ugarit, na costa Síria, as inscrições do século XVIII antes de nossa era utilizavam um alfabeto cuneiforme de trinta signos: o princípio alfabético, então inventado, parece ter sido adaptado à tecnologia da escrita sobre tabuletas de argila. O alfabeto semita, diretamente ou não, provocou o nascimento de todos os grandes alfabetos do planeta: o fenício e, a partir daí, o grego, o cirílico, a escrita latina e, provavelmente, todas as escritas da Índia, mas, também, a escrita hebraica, que permaneceu sem modificações até nossos dias; enfim, a escrita aramaica e, por esse viés, o árabe e seus 200 milhões de leitores atuais.

AS VOGAIS, MÃES DA LEITURA

Nesta explosão cultural, uma menção particular retorna à filiação fenícia, à qual devemos uma última invenção essencial: a representação explícita das vogais. Nas escritas semíticas, só eram transcritas as consoantes, o que deveria complicar a tarefa do leitor, uma vez que as letras não especificavam senão a raiz das palavras e não sua pronúncia integral. Para contornar esta ambiguidade, a escrita fenícia introduziu uma novidade: ela especificou a qualidade de certas vogais através de símbolos adicionais, denominados *matres lectionis* ("mães da leitura"). Essas "mães" não são outras senão algumas consoantes convertidas para representar a presença de certas vogais. A ideia parece ter gerado modificações espontâneas de

pronúncia das palavras[16]. Por exemplo, a palavra *panamouwa* (que se escrevia com as consoantes PNMW) foi progressivamente deformada pela língua oral no francês, em *panamoua*, depois em *panamou*, pronunciada [panamu]. No francês, tornou-se natural que a letra "w" passasse a ser substituída por "ou", pronunciado [u]. Do mesmo modo, a letra "j" (*yod*), que representava a semivogal /j/, foi substituída pela letra "i".

Contudo, o sistema permaneceu imperfeito: ele não representava todas as vogais e era ambíguo, uma vez que os mesmos símbolos podiam representar às vezes uma consoante e, outras vezes, uma vogal. Foi assim como os gregos que, ao adaptarem a escrita fenícia às suas necessidades, inventaram o alfabeto moderno, tal qual o conhecemos, com um inventário completo de consoantes e de vogais. Os gregos adotaram os nomes fenícios das letras (*alef, bet, gímel*, etc.), mesmo se tais palavras não significassem nada em sua língua. Contudo, a fonologia do grego se afastava daquela das línguas semíticas. Várias consoantes fenícias não existiam no grego. Por exemplo, os gregos não sabiam pronunciar, de modo adequado, o golpe de glote representado por ', que aparece no início da palavra *'alef*. Portanto, eles o omitiam e pronunciavam simplesmente [alef]. Eis porque eles retêm a forma da letra A que, no entanto, representava um diacrítico consonantal nas línguas semíticas, para registrar a vogal /a/. Aconteceu o mesmo com o iota, o ômicron e o ípsilon (saído da letra "vav"): todas essas letras são consoantes semíticas, convertidas para denotar as vogais gregas. O sistema continuará evoluindo, durante vários séculos, a fim de distinguir as classes de sons que também evoluem na língua grega. Assim, aparecem o /o/ longo (literalmente *ômega*) e o /e/ longo (a letra *eta*, emprestada à letra fenícia *het*, que representava uma consoante inexistente no grego). Grafemas complexos surgiram igualmente, tais como a conjunção das letras *o* (ômicron) e *u* (ípsilon), para registrar /u/, por oposição à letra *úpsilon* que acabou por representar exclusivamente /i/.

Esses lentos ajustamentos não devem mascarar, de saída, o novo princípio estabelecido. Com o alfabeto, os gregos passaram a dispor, enfim, pela primeira vez, na história da humanidade, de um inventário gráfico completo e mínimo das classes de sons de sua língua. Os símbolos da escrita não representavam mais os elementos de significado, nem mesmo sons complexos como sílabas inteiras. Sem o saber, os gregos haviam descoberto as classes das menores unidades sonoras da língua falada, os fonemas, e conceberam uma notação escrita capaz de transcrevê-los todos. Através de tentativas, a evolução cultural convergiu em direção a um jogo mínimo de símbolos, dotado de uma afinidade muito forte com

nosso aparelho cerebral, por um lado, porque nosso córtex occípito-temporal ventral esquerdo aprende facilmente a reconhecê-los, mas, por outro, também, porque eles estabelecem uma conexão direta com a codificação das classes de sons da língua, no córtex temporal superior esquerdo.

NOTAS

1 Kipling, 1961.
2 Lévi-Strauss, 1958; Sperber, 1974; Chomsky, 1988; Brown, 1991.
3 A notação coreana hangul, por exemplo, utiliza uma combinatória de signos para denotar os traços fonéticos tais como a vibração das cordas vocais nas consoantes.
4 Changizi & Shimojo, 2005.
5 Changizi, Zhang, Ye & Shimojo, 2006.
6 Não há nenhuma dúvida de que a simplicidade do gesto motor também exerceu uma forte pressão seletiva sobre a evolução da escrita. Contudo, vários argumentos sugerem que as regularidades identificadas por Changizi são mais ligadas à leitura do que à escrita (Changizi & Shimojo, 2005; Changizi et al., 2006). Em particular, encontram-se essas regularidades nas fontes dos caracteres da informática, assim como nos logotipos das empresas, dos tipos de símbolos para os quais a dificuldade da escrita não entra em jogo. Inversamente, a forma visual da escrita manuscrita faz intervir curvas qualitativamente diferentes.
7 Leroi-Gourhan, 1983; Calvet, 1998.
8 Leroi-Gourhan, 1964, pp. 266, 268, e 280.
9 Schmandt-Besserat, 1996.
10 A imagem cerebral recentemente demonstrou que a visão de uma configuração do corpo ativa uma região particular do córtex occipital (Downing, Jiang, Shuman & Kanwisher, 2001).
11 Plotino, *Quinta Enêade*, Livro 6, parágrafo 6.
12 DeFrancis, 1989.
13 Coulmas, 1989, p. 78
14 Zali & Berthier, 1997, p. 38.
15 Uma ocasião similar se apresentou na Coreia, quando o rei Sejong expressou seu descontentamento com os caracteres chineses que ele considerava inadequados para registrar a língua coreana. «Esse sistema é muito complicado, imperfeito e provoca mal-estar para que o povo coreano exprima livremente suas ideias e seus próprios pensamentos, porque muitos caracteres chineses são aí utilizados. Os coreanos têm grande necessidade de suas próprias letras, com as quais possam escrever a língua coreana.» É assim que, em 1446, «por compaixão pelo povo», Sejong promulgou a escrita hangul, da qual 24 dos 28 caracteres são ainda hoje usados. O uso racional dos princípios de registro fonético, alfabético e silábico a tornaram um dos sistemas de escrita mais elegantes do planeta (Coulmas, 1989, pp.118-122).
16 Coulmas, 1989, p. 146.

5

Aprender a ler

Como a aprendizagem da leitura modifica o cérebro da criança? Aprender a ler consiste em colocar em conexão dois sistemas cerebrais presentes na criança bem pequena: o sistema visual de reconhecimento das formas e as áreas da linguagem. Esta aprendizagem passa por três fases: a etapa pictórica, breve período quando a criança "fotografa" algumas palavras; a etapa fonológica, quando ela aprende a decodificar os grafemas em classes de sons; e a etapa ortográfica, quando ela automatiza o reconhecimento das palavras. A imagem cerebral mostra que vários circuitos cerebrais se modificam, notadamente os do córtex occípito-temporal esquerdo. Em alguns anos, a atividade cerebral, evocada pelas palavras aumenta, se torna seletiva e focaliza em direção às redes dos adultos.
Esses primeiros resultados abrem novas pistas a fim de otimizar o ensino da leitura. Compreendemos, em particular, por que o método global conseguiu causar uma ilusão, apesar de que fosse vã e ineficaz, pois não corresponde à maneira pela qual funcionam as redes neuronais da leitura.

> *Gostaria de que vocês se maravilhassem, não somente com o que leem, mas com o milagre de que tal seja legível.*
>
> Vladimir Nabokov, *Fogo pálido*
> (tradução para o francês de R. Girard e M.-E. Coindreau, *Feu pâle*)

Essas escritas que gerações de escribas levaram 5.400 anos para refinar, o cérebro de nossas crianças deve, hoje, absorver em alguns anos. Sejam elas francesas, inglesas, chinesas, árabes ou israelitas, dois ou três anos de ensino de leitura serão suficientes para que decifrem as palavras

de sua língua. Durante esses anos cruciais para a autonomia da criança, a escrita, até então marcas bizarras sobre o papel, torna-se de repente letra viva e significante.

Como se produz esta aprendizagem? E que ensinamentos se podem tirar das pesquisas sobre a leitura a fim de melhorar a eficácia com a qual nosso sistema educativo a transmite às crianças?

Segundo o modelo da reciclagem neuronal, a escrita se ancora progressivamente no cérebro do leitor aprendiz. Ela deve encontrar ali seu lugar ótimo, no seio de circuitos já funcionais, mas cuja função demanda uma reconversão mínima. Um processo de "tateio cerebral", que reproduz em alguns anos os ensaios e erros que pontuaram a evolução cultural milenar da escrita, deve, pois, se produzir nos circuitos visuais e linguísticos da criança. A leitura deveria convergir, progressivamente, em direção à região occípito-temporal esquerda, onde deveríamos poder acompanhar, no decorrer de meses, a especialização progressiva para a escrita e a interconexão com outras regiões temporais, parietais e frontais. A psicologia cognitiva do desenvolvimento e os primeiros dados da imagem funcional do cérebro da criança, mesmo se ainda fragmentários, começam a jogar certa luz sobre as etapas que pontuam esse processo[1].

Paradoxalmente, contudo, o modelo da reciclagem neuronal nos incita, igualmente, a examinar um período de desenvolvimento que quase não foi jamais discutido nos debates sobre a aprendizagem da leitura, a saber, o dos primeiros anos de vida, de 0 a 5 anos. Com efeito, segundo minha hipótese, aprender a ler não é possível senão porque o cérebro da criança contém já, em grande medida, as estruturas neuronais apropriadas, sejam elas herdadas da evolução dos primatas, sejam elas o resultado de uma aprendizagem anterior. O desenvolvimento linguístico e visual da criança, antes mesmo que ela aprenda a ler, joga, pois, um papel essencial na boa preparação do cérebro para a leitura. No próximo capítulo, dedicado à dislexia, veremos, aliás, que a causa principal das dificuldades em leitura é uma perturbação precoce para a análise das classes de sons de uma dada língua.

DE 0 A 5 ANOS: O NASCIMENTO DE UM FUTURO LEITOR

Como está organizado o cérebro da criança antes da aprendizagem da leitura? A compreensão da língua falada e o reconhecimento visual invariante, as duas faculdades essenciais, que a leitura vai reciclar e interconectar, estão já posicionados.

Desde os primeiros meses de vida, a criança demonstra uma competência excepcional para a discriminação dos sons da fala. Desde há uma trintena de anos, sabíamos que, com poucos dias de vida, o bebê discrimina os contrastes linguísticos dos sons de qualquer língua[2] e manifesta uma atenção especial para a prosódia de sua língua materna[3]. Mas a imagem cerebral do bebê de 2 ou 3 meses revelou uma organização anatômica insuspeitada. Muitos esperavam encontrar uma rede desorganizada, bem menos focalizada e reproduzível que no adulto. Ora, não é nada disto – as competências linguísticas do bebê repousam já sobre uma rede cortical do hemisfério esquerdo, a mesma que se ativa no cérebro adulto, durante o tratamento da linguagem[4]. A região temporal superior esquerda analisa os sons da fala, enquanto o sulco temporal superior esquerdo mostra já uma organização hierárquica, sem dúvida, ligada a uma análise progressiva dos fonemas, das palavras e das frases. Mesmo a região frontal inferior esquerda chamada "área de Broca", uma região tradicionalmente implicada na produção da fala e na análise da gramática, se ativa no bebê de 3 meses quando ele escuta frases, mesmo que ele não produza ainda senão alguns sons inarticulados.

Não restam, pois, dúvidas de que existe um viés genético para interconectar precocemente essas regiões cerebrais numa rede que facilite a aprendizagem da língua. Bem entendido, esses vieses iniciais se transformam com a aprendizagem – a língua não nasce toda pronta na área de Broca! No curso do primeiro ano, a rede das áreas da linguagem se especializa progressivamente sob a influência da língua materna[5]. Desde os 6 meses, a representação das vogais, que denominamos como o "espaço vocálico", se deforma para representar melhor as vogais da língua materna. Ao redor dos 11 ou 12 meses, são as consoantes que convergem em direção ao repertório apropriado (os bebês japoneses perdem, então, a capacidade de distinguir a diferença entre as consoantes [*r*] e [*l*]).

O cérebro da criança extrai os segmentos da fala, tria e os classifica como faria um naturalista ou um estatístico. Ele explora as regularidades das cadeias que escuta para deduzir quais transições sonoras são possíveis e elimina aquelas que devem ser excluídas. É assim que ele extrai as regras fonotáticas de sua língua: um bebê polonês aceitará que as consoantes */p/*, */r/* e */ʃ*/* estejam em sequência numa mesma palavra enquanto esta sequência será interdita no português. As estatísticas que essas áreas da linguagem compilam inconscientemente lhe permitem, do

* N. de R.T.: */ʃ/* é o símbolo fonético que corresponde ao grafema "ch". No original, Dehanene usou ch, mas utilizamos */ʃ/* porque um bebê não reconhece letras.

mesmo modo, reconhecer e recortar as cadeias que retornam com frequência: essas serão suas primeiras palavras[6].

Ao final do segundo ano, o vocabulário da criança explode, enquanto a gramática se instala. No momento em que ela começa a ler, estima-se que a criança de 5 ou 6 anos possua uma representação detalhada da fonologia de sua língua, um vocabulário de vários milhares de palavras e um domínio das principais estruturas gramaticais e da forma pela qual elas veiculam o significado. Essas "regras e representações[7]" permanecem, a maior parte, implícitas. A criança não sabe que as possui e não poderia enunciá-las. Contudo, elas não permanecem menos presentes num conjunto organizado de circuitos neuronais da fala, que estão prontos para serem confrontados com a experiência escrita.

Em paralelo, o sistema visual da criança se estrutura. Se nós conhecemos bem a emergência da discriminação das cores, da orientação ou da profundidade nos primeiros meses de vida, é lastimável que as pesquisas sobre o reconhecimento dos objetos sejam ainda muito raras: só o desenvolvimento do reconhecimento dos rostos tem sido objeto de estudos aprofundados. Desde os primeiros dias de vida, a criança presta uma atenção especial aos rostos, e esses parecem já ativar, como no adulto, uma parte da região occípito-temporal direita[8]. Esta especialização se amplia progressivamente no curso do primeiro ano de vida. O bebê aprende a fazer distinções refinadas entre os rostos das pessoas que o rodeiam, enquanto, na ausência de treinamento específico, ele perde, ao redor dos 9 meses, a capacidade dos outros primatas[9] de discriminar as faces. Com dois anos, a criança aprende, também, a reconhecer um rosto, independentemente do contexto no qual ele foi apresentado[10]. Esse processo de especialização parece continuar durante pelo menos uma dezena de anos[11].

Ignora-se, por enquanto, em que momento o mosaico cortical de especialização para os rostos, objetos ou lugares se fixa na configuração adulta. Por volta dos 5 ou 6 anos, no momento em que a criança aprende a ler, apesar de os grandes processos de reconhecimento visual e de invariância estarem instalados, é provável que o sistema visual ventral esteja ainda num período intenso de plasticidade quando a especialização funcional está longe de estar fixada – um período particularmente propício para a aprendizagem de novos objetos visuais tais como as letras e as palavras escritas.

TRÊS GRANDES ETAPAS PARA APRENDER A LER

Esse moço, Senhor, jamais se alimentou das guloseimas que fervilham nos livros; ele jamais, como se diria, comeu papel; ele jamais bebeu tinta; seu intelecto não está abastecido; é um animal sensível somente nas partes grosseiras.

Shakespeare, *Penas de amor perdidas*
(trad. para o francês por François-Victor Hugo).

Examinemos agora como as competências visuais e linguísticas precoces da criança se remanejam quando da aprendizagem da leitura. Em quanto tempo, pelo viés de quais etapas nos tornamos um leitor esperto? Em 1985, a psicóloga Uta Frith propôs um modelo até hoje referenciado, o dos três estágios da leitura[12]. Notemos, de saída, que essas etapas não são distribuídas de forma rígida. A criança passa continuamente de uma etapa a outra, numa escala de alguns meses ou anos. Do leitor iniciante ao esperto, a transição é lenta. Talvez, fosse mais bem representado por certos modelos de redes de neurônios nos quais as representações emergem espontaneamente por algoritmos de aprendizagem estatística gradual[13]. Contudo, balizar algumas grandes etapas não é inútil, nem que para fins pedagógicos.

Conforme Uta Frith, a primeira etapa da leitura, que surge ao redor dos 5 a 6 anos, é logográfica ou pictórica. A criança ainda não compreendeu a lógica da escrita. Assim, seu sistema visual ensaia reconhecer as palavras da mesma forma como com os objetos ou rostos que a rodeiam. Ela explora todos os traços visuais: a forma, mas também a cor, a orientação das letras e suas curvas. Nesse estágio, que precede, muitas vezes, o ensino explícito da leitura, a criança consegue reconhecer seu prenome, seu sobrenome e talvez algumas marcas publicitárias de forma visual saliente ("Coca-Cola").

O tamanho desse léxico pictórico varia consideravelmente de uma criança para outra. Em algumas crianças, ele atinge perto de uma centena de palavras, enquanto em outras, particularmente em línguas transparentes como o italiano e o português, a etapa pictórica pode ser bem reduzida e até não detectável. Trata-se, com certeza, de uma pseudoleitura, mais aparentada com a adivinhação. É fácil demonstrar que a criança não decodifica a estrutura da palavra e não explora senão alguns índices visuais. Ela se deixa enganar pela semelhança visual das formas ("Caco-Cola" será lida como "Coca-Cola"). Inversamente, ela não reconhece as palavras apresentadas sob uma forma diferente ("COCA-COLA" em maiúsculas de imprensa) e não generaliza para palavras novas, como "calo" ou "cala" [14].

Essas características sugerem que o cérebro da criança, nesse estágio, realiza uma projeção direta da forma global das palavras em direção ao significado, sem ter em conta a composição interna com letras, nem sua pronúncia – uma pseudoleitura por uma via visual-semântica.

TOMAR CONSCIÊNCIA DOS FONEMAS

Para progredir, a criança deve imperativamente desenvolver a segunda via da leitura, aquela que associa cada cadeia de letras a sua pronúncia, por um procedimento sistemático de conversão dos grafemas aos fonemas. Este procedimento de decodificação se estabelece no curso da segunda etapa de aprendizagem da leitura, a etapa fonológica, que aparece tipicamente no curso dos primeiros meses de escola, ao redor dos 6, ou 7 anos. A palavra cessa então de ser tratada em sua globalidade. A criança aprende a prestar atenção aos pequenos constituintes das palavras, sejam uma ou duas letras, essas últimas conhecidas como dígrafos no português brasileiro ("ch", "lh", "nh", "ss", "rr", "sc", "sç", "xc" , "xç", "am", "in", etc.). Adquire as correspondências que associam cada um desses elementos aos fonemas de sua língua e se aplica em reuni-los para formar as palavras. É o famoso B-A BA.

Pode ser que a criança, desde a etapa anterior, tenha aprendido a reconhecer a forma e o nome das letras. Contudo, pode-se questionar se esta aprendizagem, longe de ajudar a criança, não retarda a da leitura. Com efeito, saber que "C" se pronuncia *se*, "A", *a* e "O", *ó* não ajuda em nada a ler a palavra "CÃO".

O que reunimos no curso da leitura não são os nomes das letras, mas os fonemas que elas representam – as unidades da fala abstratas e escondidas que a criança deve descobrir. Uma verdadeira revolução mental deve ter lugar no cérebro da criança antes que ela descubra que a fala pode ser decomposta em fonemas e que podemos recompor a sequência /ba/, combinando os fonemas /b/ e /a/. Os primeiros anos de leitura veem a emergência de uma representação explícita das classes de sons da língua. A criança descobre que a fala é composta de átomos, os fonemas, que podem ser recombinados, para formar novas palavras, verdadeiras moléculas verbais.

Chama-se esta nova competência de metafonológica ou de "consciência fonêmica". Os trabalhos do psicólogo José Morais demonstraram que a tomada de consciência dos fonemas não é automática: ela depende do ensino explícito de um código alfabético[15]. Mesmo um adulto, se não for alfabetizado, não depreende espontaneamente os fonemas nas palavras.

Para demonstrá-lo, José Morais e seus colegas compararam os desempenhos de adultos portugueses, dentre os quais alguns tinham aprendido a ler enquanto outros, de nível sócio-econômico equivalente, eram analfabetos. Eles lhes solicitaram todo o tipo de manipulações da língua falada. Por exemplo, se retirarmos o primeiro som de Porto, o que obtemos? (/orto/ → "horto"). As palavras "tábua" e "touro" começam pelo mesmo som? (Sim). Quantos sons existem na palavra "par"? (Três).

Os resultados foram claros: os analfabetos fracassam sistematicamente desde que se trate de jogar com os fonemas das palavras, isto é, manipulá-los. Outras experiências traçaram os limites desse fracasso. Os analfabetos não experimentam nenhuma dificuldade em discriminar os sons da fala, por exemplo, em reconhecer a diferença entre [da] e [ba]. Eles também conseguem manipular as sílabas e as rimas das palavras. Assim, não demonstram nenhuma dificuldade em reconhecer que "órfão" e "amam" têm a mesma terminação. São unicamente os constituintes mais elementares de uma sílaba, os fonemas, que eles não manipulam. Eles não se dão conta de que os mesmos elementos sonoros ocorrem em diferentes posições nas palavras e que ocorre o mesmo fonema /s/ em "**s**ala", "cal**ç**a" e "mi**ss**a". Eles não conseguem jogar o jogo das substituições, no qual, se um dos jogadores diz uma palavra, o outro deve repeti-la, substituindo o primeiro som por outro como: um diz "bala", o outro responde "mala", o outro "fala", "sala" e assim por diante.

Um dos jogos de palavras que colocam a tônica sobre a consciência fonológica é a arte do anagrama, um dos tipos de "antístrofe", muitas vezes resultando em trocadilho. François Rabelais fazia Panurge dizer "que não existia senão uma antístrofe entre mulher que lambe mundo e mulher com bunda mole". Desde a descoberta de José Morais, sabemos que a arte do anagrama é uma das conquistas da escrita alfabética. Os sumérios, com escrita silábica, não conheciam talvez o trocadilho!

Mais seriamente, as tarefas de consciência fonológica sublinham a que ponto a aprendizagem dos princípios alfabéticos modifica a forma como tratamos a fala. A leitura alfabética nos dá acesso a uma fluidez verbal desconhecida pelos analfabetos. Ela conduz, igualmente, a diferenças culturais importantes, conforme um leitor tenha aprendido os princípios alfabéticos ou não. Assim, entre os adultos chineses, aqueles que não aprenderam senão escrita chinesa tradicional fracassam nos testes de consciência fonêmica, enquanto os que também aprenderam a escrita pinyin, que obedece ao princípio alfabético, alcançam êxito[16]. No seio da mesma língua, não é simplesmente o fato de haver aprendido a

ler, mas, igualmente, a natureza fina do sistema de escrita, que modifica o tratamento da língua.

Em resumo, quando a criança aprende a decifrar uma escrita alfabética, não somente suas áreas visuais devem aprender a decompor a palavra em letras e em grafemas, mas uma parte das regiões implicadas na análise da fala deve modificar o código a fim de representar os fonemas. As duas modificações devem se coordenar antes que surja uma via eficaz de conversão grafema-fonema.

GRAFEMAS E FONEMAS: A GALINHA E O OVO

A cadeia causal que liga essa aprendizagem visual e linguística ainda não está bem compreendida. Será necessário que a criança analise os sons em fonemas, antes de poder aprender o código escrito? Ou, de fato, não será senão a partir do momento em que a criança compreende o que são as letras, que ela conseguirá decompor a fala em classes de sons elementares? Ou de fato se trata de um problema "da galinha e do ovo", isto é, de dizer que as duas aprendizagens estão estreitamente ligadas, sem que seja possível dizer qual foi o primeiro, o grafema ou o fonema?

Os dados não faltam para mostrar que, quanto mais a criança está à vontade para manipular conscientemente o fonema, mais depressa ela aprende a ler[17]. Além disso, os exercícios que treinam as crianças em jogar com os sons melhoram não somente a consciência fonêmica, mas igualmente os escores em leitura. É a razão pela qual, muitos autores concluem que uma boa consciência fonêmica é uma condição preliminar indispensável para a aquisição da leitura. Dito de outro modo, a descoberta dos fonemas precederia a dos grafemas.

Contudo, Anne Castles e Max Coltheart[18] contestaram recentemente essa conclusão. Para eles, o nexo causal entre consciência fonêmica e facilidade para a leitura não está demonstrado. Com efeito, os dados empíricos sofrem de ambiguidade: a maior parte provém de crianças que conheciam já o código de certas letras e puderam, pois, se beneficiar dessa aprendizagem visual para começar a segmentar a cadeia da fala. Castles e Coltheart lembram igualmente que a influência da ortografia se faz sentir até nas tarefas de consciência fonêmica: se pedirmos a uma criança americana quantos sons contém uma palavra, a influência da escrita é tal que ela conta mais na palavra *pitch* do que na palavra *rich*, embora na realidade essas palavras tenham o mesmo número de fonemas, isto é, três[19].

Do mesmo modo, se pedirmos a uma criança de 9 anos para retirar o último som da palavra *mala*, muitas vezes, ele produzirá *mal* ao invés da resposta *maw*, um erro influenciado pela ortografia[20]. Assim o êxito nas tarefas de consciência fonêmica é profundamente dependente do código escrito. O exemplo dos analfabetos e dos leitores chineses mostra claramente que na ausência do ensino de um código alfabético, a consciência dos fonemas não aparece.

Em definitivo, o melhor modelo de aprendizagem fonológica é, sem dúvida, o de uma interação recíproca entre o desenvolvimento dos grafemas e dos fonemas. A aprendizagem das grafemas chama a atenção sobre as classes de sons; a análise das classes de sons afina, por seu turno, a compreensão dos grafemas e assim, em sequência, uma espiral causal faz emergir simultaneamente o código grafêmico e o código fonêmico.

Sua aparição se mede diretamente ao acompanharmos o progresso e os erros da criança. Em todas as línguas do mundo, a etapa fonológica se reconhece nos erros de regularização. O leitor debutante sabe ler algumas letras e transformá-las em sons, mas fracassa quando as palavras são irregulares: diante da palavra "fixo", ele lê, por exemplo, como se estivesse escrito "ficho", ao invés de /ˈfikisu/[21]. Outro sintoma é o efeito da complexidade silábica: o debutante sabe ler as sílabas simples formadas por uma consoante e uma vogal (CV), mas experimenta dificuldades crescentes à medida que aumenta o número das consoantes (CVC, CCVC, e assim por diante); as sílabas de estrutura complexa como "vros" (CCVC) são de extrema dificuldade para os leitores debutantes[22].

Esses dois resultados indicam que a aprendizagem da leitura progride do mais simples para o mais complexo. No seio da via grafema-fonema, as primeiras conexões a se estabelecerem concernem às letras isoladas, cuja pronúncia é regular. Progressivamente, a criança aprende a pronunciar os grafemas mais raros e mais complexos. Ela localiza os grupos de consoantes e aprende como combiná-las para formar uma cadeia como "bl" ou "fr". Ela memoriza, enfim, as terminações de morfemas que, no português, são competitivas, como, por exemplo, "ês", para formar os adjetivos pátrios (inglês), e "ez", para formar substantivos abstratos (viuvez), ou morfemas especiais, cuja pronúncia é exceção, como por exemplo "trans", cujo grafema "s", depois da letra "n", deveria representar o fonema /s/ antes de grafema que represente vogal, como em "cansaço", mas acaba tendo o valor de /z/, como em "transação". O bom leitor é, antes de tudo, um leitor que conhece uma quantidade de prefixos, de radicais ou de sufixos associados sem esforço a sua respectiva pronúncia e a seu sentido.

A ETAPA ORTOGRÁFICA

A criança que atinge esse nível de domínio chega ao terceiro estágio da hierarquia de Uta Frith: a etapa ortográfica. Progressivamente, advém um vasto repertório de unidades visuais de tamanho variável. O cérebro da criança compila milhares de estatísticas sobre a frequência de uso de cada letra, bigrama, sílaba ou morfema. Nesse estágio, o tempo que uma criança utiliza para ler uma palavra não é mais simplesmente determinado pelo número de suas letras e pela complexidade de seus grafemas. Ele depende, cada vez mais, da natureza da palavra inteira e, em especial, de sua frequência na língua: as palavras raras são lidas mais lentamente. O efeito dos vizinhos se faz igualmente sentir: uma palavra rara como "gala", rodeada por vizinhos mais frequentes, como "mala' e "bala", exige um tempo de leitura mais lento. Todos esses efeitos refletem o acionamento da segunda via da leitura, a via lexical, que irá progressivamente suplementar a via de decodificação grafema-fonema.

Característica dessa etapa é o desaparecimento progressivo de toda a influência do tamanho da palavra. Na etapa precedente, fonológica, a criança decifra as palavras penosamente, letra após letra, uma decodificação que se detecta facilmente: o tempo de resposta aumenta consideravelmente de acordo com o número de letras[23]. À medida que a leitura se automatiza, o efeito do tamanho da palavra desaparece. Ele se torna totalmente ausente no bom leitor.

Em resumo, a etapa ortográfica se caracteriza por um paralelismo crescente do reconhecimento das palavras: o sistema visual fornece um código cada vez mais compacto das palavras, o qual representa de pronto a configuração do conjunto de suas letras. Organizado como uma árvore hierárquica, esse "endereço neuronal", no momento, pode ser transmitido de uma só vez, diretamente, tanto às regiões implicadas na análise do sentido quanto às implicadas na pronúncia das palavras.

O CÉREBRO DO APRENDIZ LEITOR

Acabamos de ver como a psicologia do desenvolvimento inferiu a existência de três grandes etapas da leitura. O que acontece a nível cerebral? Cada etapa se caracteriza por uma "assinatura neuronal", um jogo de regiões ativadas que lhes é próprio? A imagem chega a seguir, no cérebro da criança, a passagem de uma etapa da leitura à seguinte?

Conforme o modelo de reciclagem neuronal, deveríamos verificar o aparecimento de uma especialização crescente do sistema visual no aprendiz leitor. Na etapa pictórica, quando a criança trata a palavra como imagem de um objeto, a atividade cortical no curso da leitura deveria recrutar os dois hemisférios cerebrais. Progressivamente, deveria emergir uma focalização em direção à região occípito-temporal esquerda, onde se encontra a área da forma visual das palavras no leitor adulto eficiente.

Imaginemos, no momento, que pudéssemos melhorar o aumento das imagens para descer até a escala do neurônio ou da coluna cortical. Veríamos estabelecer-se o micro-código neuronal da leitura. Alguns neurônios, antes implicados no reconhecimento dos objetos ou dos rostos, se dedicariam progressivamente às letras, outros aos bigramas frequentes, outros, ainda, aos prefixos, aos sufixos ou às palavras mais frequentemente encontradas. Em paralelo, poderíamos ver do mesmo modo o código da língua falada se modificar na região temporal esquerda. Com a emergência da consciência fonêmica, a rede neural da língua falada deveria explodir para dar lugar a uma estrutura fina de fonemas. Enfim, se pudéssemos seguir os feixes de conexões no decorrer do tempo, nós veríamos aparecer um "pente" de projeções regulares que ligariam cada uma das unidades visuais à sua pronúncia.

Não nos enganemos. Seguir diretamente, no cérebro da criança em desenvolvimento, os progressos da aprendizagem e da educação... tal sonho não se tornará realidade senão daqui a muitos anos. Somente no final dos anos de 1990 as primeiras imagens da IRM funcional do cérebro da criança foram obtidas. Não que esse método suscite dificuldades éticas: a IRM tem sido utilizada há vinte anos em pediatria, inclusive em bebês, sem que nenhum efeito secundário tenha sido detectado. A exposição ao campo magnético, se permanecermos abaixo dos limiares perfeitamente conhecidos, não apresenta nenhum perigo – com a condição, por certo, de não introduzir nenhum objeto metálico suscetível de se transformar em projétil perigoso. Diversas espécies de animais passaram a vida toda em campos magnéticos elevados que simulavam neles um exame de IRM, sem que nenhum efeito biológico pernicioso fosse detectado[24].

Os verdadeiros obstáculos são de natureza experimental. Mede-se facilmente a dificuldade de realizar numa criança pequena um exame de uma precisão de um milímetro e de uma duração total de no mínimo

meia hora. Só alguns laboratórios adquiriram a eficiência necessária. Depois de haverem obtido o consentimento da criança e dos pais, eles recebem a criança para uma primeira visita, no decorrer da qual ela explora uma maquete da máquina IRM, ouve sons estranhos que a máquina produz, e experimenta o capacete e os óculos especiais que a protegem do ruído e lhe transmitem os estímulos auditivos e visuais. Ela aprende, igualmente, a permanecer completamente imóvel. Para conseguir isso, nossos colegas do Instituto Sackler de New York conceberam um dispositivo astucioso: uma tela de vídeo exibe um desenho animado preferido pela criança, mas que se apaga, quando a cabeça se movimenta! Uma vez investida de sua missão, comparada à de um cosmonauta, é divertido ver uma criança pequena, convencida da importância de seu "trabalho", colaborar com a maior concentração no exame da IRM.

Como se ativa, então, o cérebro de uma criança que aprende a ler? Os resultados fragmentários de que dispomos indicam que, desde os sete anos, a rede normal da leitura começa a ativar-se, quando na presença de pequenos textos[25]. Veem-se já, muito bem, a área da forma visual das palavras na região occípito-temporal esquerda, bem como as regiões temporais laterais. Contudo, tal instantâneo obtido numa idade fixa não pode revelar a dinâmica da aprendizagem. Na ausência de estudos longitudinais de uma mesma criança no curso de sua educação, as experiências mais interessantes são aquelas em que um grande número de crianças foi testado, com idades variadas, a fim de correlacionar suas competências com a atividade cerebral. O grupo de Bennet e Sally Shaywitz, da Universidade Yale, nos Estados Unidos, testou desse modo, no decorrer de vários anos, várias centenas de crianças. Seus resultados mostram uma evolução muito clara: à medida que melhora a leitura, a ativação da região occípito-temporal esquerda aumenta, precisamente nas coordenadas observadas no adulto[26]. Esse aumento depende mais do nível de leitura alcançado pela criança do que de sua idade. Assim, trata-se de um reflexo da aprendizagem e não de um simples efeito da maturação cerebral.

Com um grupo mais restrito de crianças, com idade igualmente menos homogênea, o grupo de Guinevere Éden em Georgetown não conseguiu encontrar um aumento de atividade ventral esquerda no curso da aprendizagem. Contudo, esses pesquisadores relatam um decréscimo progressivo da atividade occípito-temporal na região simétrica do hemisfério direito[27]. A aprendizagem implicaria, pois, um processo de seleção: partindo da ativação bilateral evocada por não importa qual imagem visual, o foco do reconhecimento visual das palavras se localizaria pouco a pouco em direção à região ótima. Assim, acaba-se verificando uma predição muito antiga lançada por Samuel Orton, o pai das pesquisas sobre a leitura e a dislexia, que enunciou desde 1925: "A aquisição da leitura implica uma elisão do foco da atenção das imagens da memória desviadas do hemisfério não dominante [isto é, o direito][28]".

O registro da atividade elétrica e magnética do cérebro da criança confirma essa focalização progressiva[29]. Na criança pequena pré-leitora, quando lhe apresentamos palavras escritas, não se observa ainda a rápida convergência em direção ao hemisfério esquerdo que, em torno de 170-200 milissegundos no adulto, reflete a etapa de reconhecimento invariante das cadeias de caracteres. Pelo contrário, em todas as primeiras etapas da leitura, é a região occípito-temporal direita que parece efetuar a diferença entre as palavras e as cadeias aleatórias de letras. Pode se tratar de um primeiro correlato neuronal da etapa pictórica descrita por Uta Frith, na qual as crianças fotografam algumas palavras e as reconhecem pela familiaridade global, um pouco como os rostos.

Todos os resultados sugerem que essa utilização inicial de uma porção extensa das áreas visuais desaparece rapidamente em proveito de uma utilização crescente da região ótima para a leitura, a região occípito-temporal esquerda. Contudo, mesmo nos anos ulteriores, quando, em torno dos 7 a 8 anos, aparece uma resposta lateralizada característica dessa região occípito-temporal[30], sua especialização ainda não está completa[31]. Nas crianças de 10 anos, a onda negativa que, em torno de 170 milissegundos, acompanha o reconhecimento das palavras, está presente, para as palavras frequentes e bem conhecidas pela criança, mas, contrariamente ao adulto, essa resposta não se generaliza para as pseudopalavras que respeitam as regras ortográficas (como "pasga" ou "darfa"). Essa região cerebral não atingirá sua maturidade senão no início da adolescência – com a condição, é claro, de que a criança leia suficientemente para se tornar um bom leitor.

A aprendizagem não modifica somente as respostas às palavras escritas. A imagem cerebral permite medir igualmente modificações consideráveis em outras áreas da linguagem no hemisfério esquerdo. É o caso, notadamente, de duas regiões cerebrais associadas ao tratamento fonológico: o sulco temporal superior e o córtex pré-frontal inferior (a área de Broca). Todas duas aumentam progressivamente sua atividade à medida que a criança desenvolve sua "consciência fonêmica[32]", quer dizer, a

BROCA

capacidade de manipular mentalmente os sons da fala. Vê-se, sem dúvida ali, o ponto de ancoragem da leitura no seio das áreas da linguagem.

NO CÉREBRO DE UM ILETRADO

A aprendizagem do código escrito transforma profundamente a forma de escutar os sons da fala. É testemunho uma última experiência de imagem cerebral que deve ser citada aqui, embora não se passe no cérebro da criança. Na ocorrência, é o cérebro do adulto que serve para compreender o da criança.

Para visualizar as subversões da organização cerebral induzidas pela aprendizagem da leitura, Alexandre Castro-Caldas e seus colegas tiveram a ideia de comparar o cérebro de adultos alfabetizados com os de iletrados[33]. É essencial, nesse tipo de estudos, selecionar com zelo os participantes, porque o analfabetismo, em nossas sociedades desenvolvidas, pode ser um signo de exclusão social, ou de enfermidades genéticas ou neurológicas que, em si mesmas, são suscetíveis de causar grandes diferenças na atividade cerebral.

A fim de assegurar o recrutamento de pessoas que somente não tiveram a chance de frequentar a escola, Castro-Caldas se concentrou numa situação própria a certas famílias do sul de Portugal. Nos anos de 1930, não havia nenhuma possibilidade para estas famílias de enviar todos os seus filhos à escola. Em geral, a filha mais velha permanecia em casa para se ocupar dos irmãos e irmãs. Ela não era, pois, escolarizada, contrariamente aos filhos seguintes. Assim, foi possível comparar, no seio da mesma família, a influência da escolaridade e da alfabetização na organização do cérebro.

No quadro de uma colaboração internacional, doze mulheres portuguesas, entre as quais a metade era analfabeta, tomaram o avião para Estocolmo. No Instituto Karolinska, elas se beneficiaram de uma IRM anatômica e de um exame com câmera de pósitrons. Foi-lhes pedido algo muito simples: repetir palavras do português ou pseudopalavras que respeitavam a estrutura daquela língua, mas que não tinham nenhum significado. Os dois grupos de mulheres tinham um vocabulário de tamanho comparável. Em contraposição, as analfabetas encontraram dificuldades especiais com as pseudopalavras, que elas assimilavam frequentemente a palavras que elas conheciam. Assim, acontecia dizerem *cabeça* ao invés de *capena*, ou *gravata* ao invés de *travata*.

É um resultado clássico: a alfabetização enriquece o código fonológico. A aprendizagem do alfabeto ensina a quebrar a cadeia dos sons em seus constituintes elementares, os fonemas. As pessoas alfabetizadas dominam, pois, um código fonológico que lhes permite representar melhor as pseudopalavras. Na ausência desse código, os analfabetos não podem senão repousar em analogias com as palavras que eles conhecem – e isso se traduz por uma redução importante na memória das pseudopalavras.

O que revelou a imagem cerebral? Entre os analfabetos, como era de esperar, não havia quase nenhuma diferença entre as palavras e as pseudopalavras, a não ser na região pré-frontal direita implicada na busca na memória. Ao contrário, nas pessoas alfabetizadas, a escolarização modificou profundamente as respostas às pseudopalavras. Entre a rede muito extensa figurava notadamente a região da insula anterior esquerda, muito próxima da região de Broca, ativada na criança no curso do desenvolvimento.

A alfabetização modifica, pois, as regiões ativadas quando se escuta a fala, mas igualmente a anatomia do cérebro: o corpo caloso se espessa na parte posterior que conecta as regiões parietais dos dois hemisférios[34]. Sem dúvida, algumas dessas modificações cerebrais são responsáveis por um dos efeitos maiores da escolarização: o aumento da capacidade da memória, particularmente para as palavras novas e pouco familiares. Sempre no *Fedro*, Platão imagina como debatiam o rei egípcio Thamos e o deus Thot, inventor da escrita, sobre o tema das vantagens que a humanidade tiraria dessa invenção:

> Eis, ó Rei, um conhecimento que terá como efeito tornar os egípcios mais instruídos e mais capazes de se lembrar: a memória assim como a instrução encontrou seu remédio!

Mas o rei Thamos, pouco convencido, retrucou:

> Esse conhecimento terá como resultado, entre os que o tiverem adquirido, tornar suas almas esquecidas, porque eles cessarão de exercer sua memória: colocando, com efeito, sua confiança no escrito, é do exterior, graças aos empréstimos estrangeiros, não do interior e graças a eles próprios que eles se recordarão das coisas.

Quatro mil anos mais tarde, a psicologia do analfabetismo deu razão a Thot e infligiu um desmentido a Thamos, bem como a Platão: sim, a aprendizagem da leitura aumenta a memória. Mesmo se esses resultados preliminares da imagem do analfabetismo devam ser estendidos a um grupo maior de pessoas, com um método de imagem mais preciso,

eles são os primeiros a mostrar a que ponto a escolarização e particularmente a aprendizagem da leitura transformam maciçamente as competências de nosso cérebro. O vírus que é a leitura nos é inculcado pela via visual, mas sua influência se estende muito rapidamente ao conjunto das áreas da linguagem, onde ele multiplica nossas competências espontâneas. Quando aprendem a ler, nossas crianças retornam literalmente transformadas da escola: seu cérebro não é mais o mesmo.

O QUÊ PERDEMOS QUANDO APRENDEMOS A LER?

Até aqui, não abordamos senão os aspectos positivos da aprendizagem da leitura. Contudo, minha hipótese de uma reciclagem neuronal conduz a uma predição menos alvissareira. A aprendizagem da leitura, ao invadir os circuitos neuronais dedicados a outro uso, poderia nos fazer perder certas capacidades cognitivas herdadas de nossa evolução.

O jogo das reorganizações corticais poderia, com efeito, nos levar a uma "soma nula". Sabe-se hoje que, com pouquíssimas exceções, o número de neurônios corticais é essencialmente fixo. Se dedicarmos uma parte ao reconhecimento visual das palavras, eles cessam verdadeiramente de estar disponíveis a outros usos. Poderia acontecer que a aprendizagem intensiva da leitura diminuísse o espaço cortical, disponível a outras competências. É uma predição simples quase *naïve*, da hipótese da reciclagem neuronal, que nos leva a uma ideia estranha: nossos ancestrais iletrados possuíam talentos visuais cuja existência nós ignoramos?

De saída, digamos que abordo aqui um tópico muito especulativo, uma vez que os dados pertinentes são raros. Cabe-me, pois, basear minha argumentação sobre observações indiretas e sobre raciocínio lógico.

Para começar, o envelope total de nossas aprendizagens é fixo? Não completamente. Mesmo se o número de neurônios permaneça constante, seus pontos de contato, as sinapses, variam com a aprendizagem, aí compreendida a do adulto. O crescimento considerável do número de sinapses e de arborizações dos axônios e dendritos no início do desenvolvimento oferece uma margem de aprendizagem de contornos desconhecidos. O jogo da aprendizagem não se joga, sem dúvida, com soma nula, uma vez que a densidade das sinapses, no animal, depende da riqueza das simulações cognitivas que traz o ambiente.

Além disso, um mesmo neurônio não pode participar simultaneamente de várias funções? A resposta, em pelo menos alguns casos é positiva: os neurônios "associativos" dos córtices pré-frontais, temporais e parietais parecem pertencer a vários conjuntos muitas vezes diferentes – um mesmo neurônio parietal pode, por exemplo, se interessar por inúmeros objetos e por seu movimento[35].

A aprendizagem pode igualmente refinar a precisão do código neural, que passa de uma codificação redundante, cuja maior parte dos neurônios faz as mesmas discriminações grosseiras, para uma representação diferenciada do ambiente, pela qual cada neurônio responde com precisão a um jogo de estímulos que lhe são próprios. Quando um macaco é estimulado com tarefas finas de discriminação manual, o mapa cortical que representa o sentido tátil dos dedos solicitados se torna mais preciso, melhor organizado, e seus campos receptores se refinam. O mesmo efeito é também observado nos pianistas ou nos violinistas: com a aprendizagem, o mapa cortical da mão esquerda aumenta em superfície. O mapa estimulado pode então invadir outros territórios corticais vizinhos, normalmente dedicados à representação do braço ou do rosto. Essa invasão afeta o refinamento de nossa percepção dessas outras partes do corpo? É possível, mas podemos igualmente imaginar que se produza uma transferência positiva: o que os neurônios aprenderam para a função A poderia, depois de tudo, se revelar útil para a função B. Assim, a destreza manual do violinista aumenta possivelmente sua capacidade de aprender a bordar ou a datilografar.

Se retornarmos à leitura, não há dúvida de que horas passadas a reconhecer as diferenças ínfimas entre os caracteres aumentam as competências analíticas de nosso sistema visual. A comparação com os analfabetos revela, efetivamente, que a percepção das formas geométricas melhora com a aprendizagem da leitura[36].

Segundo o que sei, até o momento, esse tipo de comparação não revelou senão efeitos positivos advindos da aprendizagem da leitura. Mas nós realmente já examinamos sobre quais funções cognitivas a leitura poderia ter efeitos negativos? Por esse viés se coloca a questão fascinante dos precursores corticais da leitura. O que fazia a região occípito-temporal esquerda antes de aprendermos a ler? Essa região respondia, entre nossos ancestrais, a uma função bem precisa que tivesse desempenhado um papel importante em nossa evolução e que nos perdemos?

Todos os antropólogos que estiveram entre os povos caçadores-coletores, ou na Amazônia, ou na Nova Guiné, ou nas savanas da África, retornam com um sentimento de inferioridade. Seus anfitriões, dizem eles, sabem ler muito bem o mundo natural. Sua leitura dos traços dos

animais é particularmente de virtuose. O exame minucioso de alguns arbustos quebrados ou dos traços imperceptíveis na areia ou da poeira lhes fala sobre um animal preciso, seu tamanho, a direção que ele tomou e sobre uma miríade de outras informações que eles exploram com sucesso em sua caça.

Será possível que a leitura dos traços da natureza seja a precursora cortical da leitura? Não é inconcebível que tal função se tenha especializado a partir de pressões seletivas que se adivinham particularmente fortes tanto entre os predadores quanto entre suas presas. A busca de armas pelo caçador e pela caça produziu especializações evolutivas tão refinadas quanto no olho da águia ou na trajetória do leopardo. Como seu cérebro não se modificou de modo igual?

Minha especulação retoma aqui a tradição histórica chinesa. De acordo com antigas lendas, a escrita chinesa foi inventada sob o reino do imperador Huang Di, ao redor de 2600 antes de nossa era, inspirando-se nos traços dos animais. O ministro Cang Jie, ao examinar os rastros deixados na lama por diversos pássaros, constatou que eles formavam um pequeno jogo de formas fáceis de reconhecer e delas se serviu para dar nascimento aos primeiros caracteres.

Esse mito evoca outro: a antiga metáfora mística segundo a qual o mundo natural é um livro aberto, escrito pela mão de Deus, que aprendemos a decifrar.

"O que devem ser todas as criaturas do mundo, tão belas e tão bem feitas, senão as letras distintas e iluminadas que declaram de forma tão justa a delicadeza e a sabedoria de seu autor?" exclama frei Luís de Granada, místico espanhol do século XVI, em sua *Introdução ao símbolo da fé*. Sir Thomas Browne lhe responde como em eco:

> O dedo de Deus deixou sobre todas Suas obras uma inscrição, nem gráfica, nem composta de letras, mas feita de suas múltiplas formas, constituições, partes e operações que, convenientemente agenciadas, compõem, com efeito, uma palavra que exprime sua natureza.

Baixemos destes pináculos místicos para reconquistar nosso laboratório de imagem cerebral. Como testar a hipótese de uma relação antagonista entre a leitura das palavras e aquela dos traços dos animais? Seria necessário selecionar diversas imagens naturais – rostos, corpos humanos, animais, rastros, árvores, plantas, minerais, rios, nuvens, etc. – e visualizar o mosaico de ativação cerebral na superfície do córtex visual ventral. Toda a dificuldade seria a de realizar esta experiência entre dois grupos de pessoas de idade semelhante, uns alfabetizados e os outros apenas instruídos pelo grande livro da natureza. O mosaico seria deformado pela aprendizagem da leitura? Veríamos certos territórios corticais deslocarem-se, comprimirem-se, e até desaparecerem, em proveito do aparecimento de uma resposta às palavras escritas? Em particular, a região que respondesse aos traços dos animais dirigir-se-ia ao hemisfério direito, ou simplesmente seria apagada pela aprendizagem da leitura?

No momento em que escrevo essas linhas, pessoa alguma testou essas ideias. Minha equipe tem muita esperança de realizar experiências desse tipo nos próximos anos. No intervalo, a hipótese da reciclagem neuronal pode ser abordada em outros domínios distintos dos da leitura. Com efeito, certos adultos apaixonados consagram a um pequeno domínio de exercitação um tempo mais ou menos igual àquele em que outros passam lendo. Como se reorganiza o cérebro de alguém apaixonado por carros, que distingue numa primeira olhada um Studebaker Gran Turismo de um Alfa Romeo Giuletta? Quais novas regiões são consagradas no especialista em ornitologia às dezenas de espécies de *avocetta* ou de galinhola? Essas aprendizagens intensivas têm também um custo?

Tais são as questões que examina uma rede de cientistas especializados em *expertise*, motivados por Isabel Gauthier e seus colaboradores. Esses últimos também convenceram alguns voluntários remunerados a passar horas aprendendo a diferenciar curiosos pequenos personagens virtuais, os "grebles", uma família de formas concebidas para solicitar capacidades de aprendizagem, de discriminação e de categorização visuais:

Todas essas aprendizagens, caso sejam intensivas, aumentam as respostas do córtex occípito-temporal aos objetos da competência. Um perito em automóveis apresenta ativações corticais mais extensas quando vê um Studebacker do que quando vê uma *avocette*. No cérebro do ornitólogo é o inverso que se produz[37].

Muito mais controversa é a hipótese de que esta competência invade sistematicamente as regiões consagradas aos rostos, na qual ela interferiria competindo com a percepção de nossas congêneres. De acordo com Isabel Gauthier, a competência para certas categorias artificiais de objetos, tais como os automóveis, entraria em competição com o reconhecimento dos rostos no mesmo território do córtex[38]. O fã de automóveis perderia ali seu sentido dos rostos!

Isabel Gauthier e Michaël Tarr pretendem havê-lo demonstrado através da imagem: as respostas cerebrais evocadas pelos rostos diminuem quando apresentadas em competição com os objetos da *expertise*, seja quando se trata de carros ou de "greebles" [39]. Embora fraco, o efeito não seria sem impacto sobre o comportamento. Os peritos perderiam alguns pontos numa medida de eficácia no reconhecimento dos rostos, a capacidade de integrar suas partes num todo (percepção "holística").

Mesmo que permaneçam fortemente contestados, esses resultados não sugerem menos que a competição cortical, consequência implícita de minha hipótese da reciclagem neuronal, deixe de ter certa realidade. Estou firmemente convencido de que não podemos consagrar tanto tempo e espaço cortical a uma atividade tal como a ornitologia ou a leitura, sem que essa reciclagem não tenha um custo sobre outras competências de nosso cérebro.

QUANDO AS LETRAS TÊM CORES

A negro, E branco, I vermelho, U verde, O azul: vogais,
Diria qualquer dia seus nascimentos latentes...

Arthur Rimbaud, *Vogais*

Outra fonte de dados, mais inesperados, confirma que a aprendizagem da leitura entra em competição com outras representações corticais. Vocês veem certas letras coloridas? Vocês estão persuadidos, como Rimbaud, de que o "A", o "E" ou o "I" têm uma cor bem precisa, cuja coloração exata vocês veem literalmente? Caso positivo, vocês têm a chance de

viver a experiência da sinestesia[40] – uma estranha fusão das modalidades sensoriais que nos traz, talvez, uma nova prova da reciclagem neuronal.

Entre as pessoas sinestésicas, as modalidades sensoriais não parecem estanques, mas se ativam umas sobre as outras. A sinestesia toma formas muito diversas: alguns veem cores e movimentos toda a vez que escutam vozes ou música. Outros não conseguem se impedir de associar um halo de cor a certas letras ou certos números. Outros veem, ainda, os números em posições espaciais bem precisas, desenhando as volutas de uma linha ou de uma matriz em duas ou três dimensões[41].

Apesar de a termos atribuído à imaginação do poeta, a sinestesia é uma autêntica ilusão perceptiva. A maior parte dos sinestésicos não é iluminada, mas sim pessoas equilibradas entre as quais também encontramos tanto artistas (Kandinsky, Messiaen, Nabokov) quanto cientistas (Richard Feynman, Nikola Tesla) e uma multidão de desconhecidos sem gênio particular. Todos dizem se esforçar em descrever fielmente sua percepção, tal como Rimbaud, que teria confiado ao amigo, Ernest Delahaye, a propósito do poema "Vogais": "Eu acreditei ver, às vezes, acreditei sentir deste modo, eu o digo, eu o narro, porque considero isso tão interessante quanto outra coisa."

Com muitos anos de intervalo, todos escolhem as mesmas nuances de cor, enquanto uma pessoa não sinestésica, mesmo treinada, varia em suas escolhas. Sobretudo, a sinestesia lhes confere certos talentos impossíveis de simular. Para nós outros, o comum dos mortais, encontrar os números 2, escondidos entre os números 5, é um desafio, tanto suas formas se assemelham (Figura 5.1). Para muitos sinestésicos, a resposta salta aos olhos, porque ela se traduz imediatamente por uma diferença de cor[42].

Qual poderia ser a relação entre a sinestesia e a reciclagem neuronal? Um ponto marcante é que a sinestesia é muitas vezes evocada para as formas culturais aprendidas. Não são todos os estímulos visuais que aparecem em cores, mas somente as letras e os algarismos, isto é, precisamente as formas que os sinestésicos aprenderam tardiamente. Existem também as sinestesias evocadas por outras aquisições culturais: as palavras e os sons de uma língua, as sinfonias, os instrumentos musicais, os pratos culinários...

Minha hipótese é a de que, na infância, cada um desses objetos culturais, procurando o "nicho neuronal" na superfície do córtex, entrou em competição temporária com outras representações mais antigas que a criança posicionou no curso de seus primeiros anos de vida. Esta competição engendraria então uma confusão[43]. No caso da leitura, como já examinada, a ativação cerebral inicialmente difusa, evocada pelas palavras escritas, parece tatear nas áreas visuais antes de se concentrar na região occípito-tem-

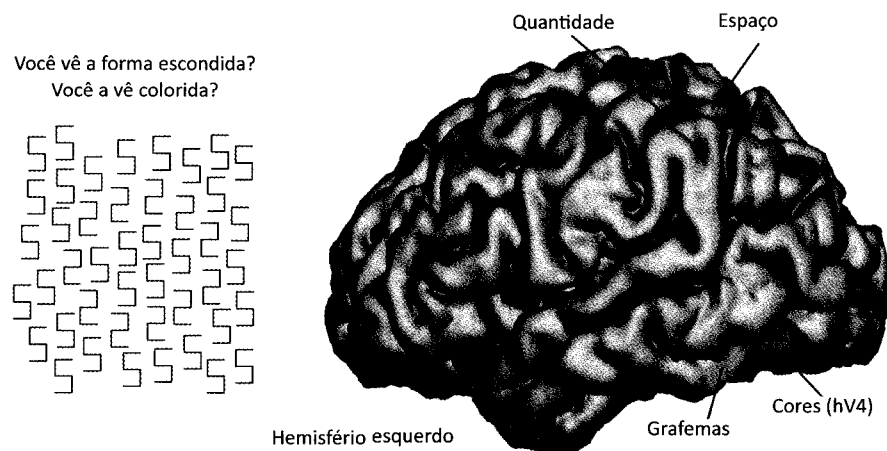



Figura 5.1 A sinestesia – uma fusão parcial de certas modalidades sensoriais – pode estar relacionada a um insucesso parcial da reciclagem neuronal. Certas pessoas "sinestésicas" dizem ver os números ou as letras do alfabeto em cores mais ou menos vivas: o A é vermelho, o E, azul, etc. Não é simplesmente uma vaga impressão subjetiva, mas uma verdadeira ilusão visual: a diferença entre os números 2 e 5 lhes salta aos olhos porque elas os veem coloridos. A imagem funcional mostra que, quando essas pessoas veem números ou letras, elas ativam não somente a região occípito-temporal esquerda, mas igualmente uma região muito próxima, a área V4, associada à visão das cores. É possível que, no curso da aprendizagem da leitura, a região occípito-temporal esquerda tenha sido mal diferenciada, criando assim um código neuronal que confunde as letras com as cores. Outras pessoas sinestésicas veem os números no espaço, o que se poderia explicar pelo fato de as regiões corticais que codificam a quantidade e os mapas espaciais se recobrirem.

poral esquerda, onde o resto do cérebro aprende então a interpretar os sinais como palavras. Na sinestesia, esta competição cortical não se resolveria normalmente, um pouco como se os neurônios não conseguissem optar com firmeza, seja pela codificação das letras, seja pela das cores.

Suponhamos, por exemplo, que o mapa das letras ganhe em superfície, mas que o mapa das cores não recue tanto. As áreas cerebrais em aval recebem então uma mensagem ambígua: se os mesmos neurônios se ativam quando eu percebo efetivamente o vermelho, mas do mesmo modo em resposta à letra "I", então minhas áreas corticais anteriores, por não receberem um sinal claro, interpretarão talvez esta percepção ambígua como um I rodeado por um halo vermelho.

Graças à imagem cerebral, Edward Hubbard confirmou uma parte desse cenário. Ao escanear o cérebro de sinestésicos adultos que associavam as letras a cores, ele observou uma superposição incomum das ativações corticais[44]. De hábito, as letras ativam uma região bem delimitada. Em sua parte posterior, ela se aventura muito próximo a uma região visual chamada de área V4, que está associada ao tratamento da cor – uma maneira clássica de ativá-la consiste em contrastar a apresentação de quadros compostos de retângulos coloridos, no estilo de Mondrian, com retângulos em preto e branco. Ora, entre os sinestésicos, as letras evocam uma ativação bem mais extensa, que recobre vastamente as regiões ativadas pela cor.

Tudo se passa como se a reciclagem neuronal, entre os sinestésicos, não estivesse finalizada. A divisão de trabalho no seio do córtex visual parece ter sido abortada. O mosaico cortical desses adultos permanece bloqueado, num estado intermediário de especialização, sem que as letras tenham totalmente convergido em direção ao seu lugar privilegiado. Quem sabe o cérebro dos sinestésicos seja particularmente rebelde às representações corticais? De acordo com as especulações de Edward Hubbard e de Vilyanur Ramachandran, a sinestesia poderia ser devida à mutação de genes implicados na poda dos neurônios[45]. De fato, ela se encontra em famílias que seguem uma configuração que poderia evocar uma transmissão genética, talvez ligada ao cromossomo X.

Se minha hipótese for justa, contudo, a sinestesia não é somente uma patologia genética. Numa etapa transitória da reciclagem neuronal, quando os mapas corticais das letras e das cores ainda não convergiram em direção ao seu lugar definitivo, uma forma de sinestesia poderia estar presente nas crianças. Todos os bebês são sinestésicos? É uma hipótese não desprovida de toda sustentação experimental, na medida em que mesmo crianças muito jovens percebem, por exemplo, a ligação entre sons agudos e objetos pequenos e pontiagudos[46]. Um de meus filhos, no final dos sete anos, via os números 1, 2, 3, 4, 5 e 9, em cores. Alguns meses mais tarde, as cores haviam mudado parcialmente e, com a idade de 8 anos, ele me dizia: "Eu me lembro de que os números tinham cores, mas agora eu não as vejo mais". Contudo, ao que saiba, nenhum estudo sistemático aprofundou esta possibilidade. Parece simplesmente plausível que a associação entre símbolos e cores, na criança, sinaliza uma reorganização transitória do córtex no curso da aprendizagem da leitura.

AS NEUROCIÊNCIAS E O ENSINO

Acabamos de ver que a aprendizagem da leitura é acompanhada de grandes mudanças funcionais: a descoberta dos fonemas, a aprendizagem da decodificação dos grafemas em fonemas, a colocação de uma segunda via lexical de leitura, enfim, a busca de um "nicho neuronal" para o reco-

nhecimento das palavras escritas no seio de outras regiões consagradas à percepção das faces, dos objetos e da cor. Poderemos tirar partido desses conhecimentos, no momento, a fim de melhorar o ensino? Como deveremos ensinar a leitura às crianças, a fim de que sua convergência em direção ao estado adulto se faça de modo mais suave e mais eficaz possível? Nossa compreensão crescente dos mecanismos cerebrais da leitura nos permite tirar conclusões sobre os métodos ótimos de ensino?

Sejamos realistas: ainda estamos longe de uma neurociência prescritiva. Com frequência ocorre um abismo entre o conhecimento teórico acumulado nos laboratórios e a sua aplicação nas escolas. Essa última coloca dificuldades novas, às quais a intuição e a experiência dos professores respondem muitas vezes melhor que os trabalhos dos cientistas.

Os dados da imagem e da psicologia, porém, não são neutros em confronto com os grandes debates sobre a leitura na escola. Embora desagrade aos relativistas de todos os matizes, não se aprende a ler de cem maneiras diferentes. Cada criança é única... mas, quando se trata de aprender a ler, todas têm o mesmo cérebro que impõe os mesmos limites e a mesma sequência de aprendizagem. Assim, importa examinar qual ensino – e não prescrições – as neurociências cognitivas da leitura podem aportar ao mundo da educação[47].

Comecemos por sublinhar o que a leitura *não é*. Leitores proficientes e hiper-treinados, nós temos a impressão de um reconhecimento imediato e global das palavras. É uma intuição enganosa. Nosso cérebro não passa diretamente da imagem das palavras ao significado. Inconscientemente, toda uma série de operações cerebrais e mentais se encadeia antes de uma palavra ser decodificada. Ela é dissecada, depois recomposta em letras, bigramas, sílabas, morfemas... A leitura paralela e rápida não é senão o resultado último, no leitor competente, de uma automatização dessas etapas de decomposição e recomposição.

O alvo do ensino da leitura é, pois, claro: é preciso colocar essa hierarquia no cérebro, a fim de que a criança possa reconhecer as letras e os grafemas e os transformar facilmente em imagens acústicas de sua língua. Todos os outros aspectos essenciais do sistema escrito – a aprendizagem da ortografia, o enriquecimento do vocabulário, as nuances do sentido, o prazer do estilo – dependem disso diretamente.

Não se poderia prestar um serviço à criança se a fizéssemos admirar-se com os prazeres da leitura sem antes lhe dar as chaves. A decodificação fonológica das palavras é a etapa chave da leitura. Todas as

pesquisas sobre as crianças e os analfabetos que descrevi no início desse capítulo o testemunham: a conversão grafema-fonema é uma invenção única na história da escrita, que transforma radicalmente o cérebro da criança e sua forma de escutar os sons da fala. Ela não se desenvolve espontaneamente, é necessário, pois, ensiná-la. A leitura pela via direta, ou ortográfica, que coloca em paralelo as letras com o significado, não se torna eficaz senão depois de muitos anos de leitura pela via fonológica.

O GRANDE DEBATE SOBRE OS MÉTODOS DE LEITURA

A psicologia cognitiva refuta, assim, bem diretamente, toda a ideia de ensinar a leitura por um método global ou ideovisual. De que se trata? Digamos, para simplificar, que esse método pedagógico propõe à criança associar diretamente as palavras escritas, ou seja, frases inteiras, ao seu significado, recusando-se a ensinar explicitamente as correspondências grafemas-fonemas.

O método global tem origem numa ideia generosa: recusar o "adestramento" das crianças, do qual a escola é muitas vezes acusada, ao transformá-las em pequenos autômatos a rezar "pa, pé, pi, pó, pu, papai papa a papa". Recusando a primazia da automatização, ele deseja recolocar o significado, no centro da leitura, oferecendo de saída às crianças textos julgados capazes de interessá-las, deixando-lhes o prazer de aí encontrar por elas próprias as frases, depois as palavras, depois as regras ortográficas. Não lhes restitui, assim, a iniciativa às crianças? A elas a incumbência de construir sua própria aprendizagem, descobrindo, elas próprias, as regras da leitura. Tanto pior se, de saída, a criança faz adivinhações e lê: "O bichinho tem sede", ao invés de "O gato bebe leite" – ela está no bom caminho, pretendem certos partidários da leitura global, porque ela cresce em autonomia e descobre de improviso o prazer do significado.

Nos anos de 1950 a 1960, o mundo da educação se polariza, assim, numa verdadeira guerra entre os progressistas, para quem o método global libera a inventividade das crianças e os defensores da pedagogia tradicional. O que restou hoje? Para muitos, a arma da guerra está enterrada. Pesquisadores, professores, ministros, todos estão de acordo: a despeito das ideias generosas que o fundamentam, o método global não funciona; ele conduziu uma geração de crianças ao fracasso. Jack Lang, em *Le Monde*, escrevia em 2002: "Ao ostracismo o método global!" Luc

Ferry, então Ministro da Educação, resumia o consenso diante da Assembleia Nacional, em 2003: "O método global é, com efeito, calamitoso. Posto isto, ele quase não é utilizado, há bastante tempo, e, desde o ano passado, por recomendação oficial, é fortemente desaconselhado".

Vale a pena, então, debatê-lo? Sim, porque, segundo Luc Ferry, "o problema, hoje, é o dos métodos mistos, quando o aluno aprende, por exemplo, a reconhecer globalmente seu nome antes de saber decompô-lo em sílabas". A constatação é retomada por seu sucessor no Ministério Nacional de Educação, Giles de Robien, que ressalta que "os métodos que iniciam pelo global continuam a existir".

Na realidade, embora oficialmente relegado às gemônias do Capitólio, o método global continua a infiltrar-se nos programas, nem que por inércia ou por hábito. O magistério, desorientado por tantas idas e vindas, não consegue se resolver a abandonar não só toda uma filosofia, mas também os hábitos e os exercícios que constituíram sua única formação. No livro *Qu'apprend-on à l'école élémentaire?*, publicado pelo Centro Nacional de Documentação Pedagógica, prefaciado por Jack Lang e publicado em 2002, no seio de um capítulo que sublinha pertinentemente a importância de "se ter compreendido o princípio que governa a codificação alfabética das palavras" e enuncia diplomaticamente que a escolha do método global "comporta mais inconvenientes que vantagens", figura a seguinte surpreendente conclusão:

> Pode-se, todavia, considerar que a maior parte desses métodos [globais ou semiglobais], pelo vasto uso que fazem das atividades de escrita, consiga também ensinar, de forma menos explícita, as relações entre grafemas e fonemas. Cabe aos professores escolher a via que conduz mais de maneira eficaz todos os alunos a todas as competências fixadas pelos programas[48] [...]

Há anos, as instruções oficiais sopram assim o quente e o frio. Elas autorizam cada professor a escolher seu método favorito, o que resulta em negar que existam métodos melhores que outros. Nas escolas, prosseguem, pois, ao lado do ensino silábico e das correspondências grafemas-fonemas, as atividades herdadas do método global: emparelhamento de uma palavra com uma imagem, reconhecimento do contorno das palavras, reconhecimento do prenome e do sobrenome, seja qual for a irregularidade de sua ortografia (Figura 5.2). Não foi senão recentemente que o Ministério de Educação Nacional exprimiu, com vigor, a inutilidade dessas práticas e as proscreveu oficialmente.

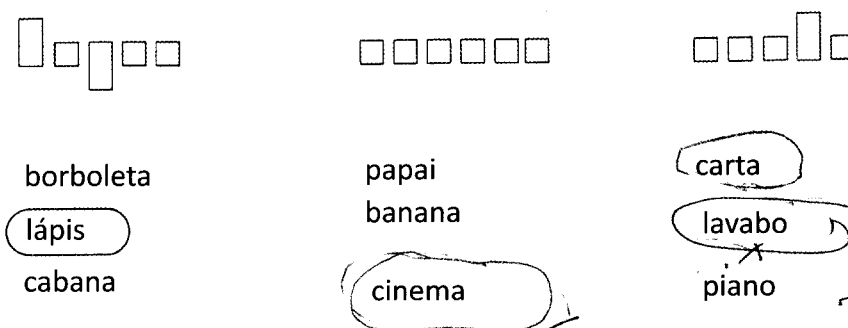
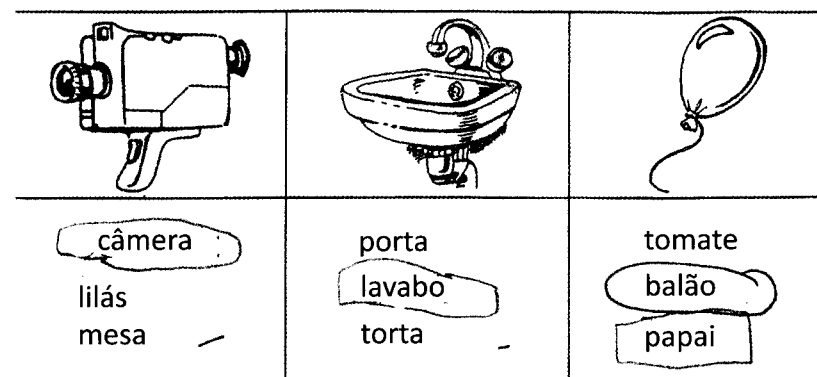



Figura 5.2 Apesar de sua ineficácia, o método global de ensino da leitura continua a inspirar certos exercícios do curso preparatório. Algumas semanas depois da entrada, quando ainda não aprendeu o valor sonoro dos grafemas, a criança deve emparelhar uma palavra com uma imagem (ao alto). Observem o erro grosseiro em relação à palavra "balão", que sugere que ela ignore completamente o princípio alfabético. A criança aprende, igualmente, a prestar atenção à forma global da palavra, simbolizada pelo envelope das letras ascendentes e descendentes. Notem que a própria instrutora se engana sobre a palavra "lavabo"! Esses exercícios não têm nenhuma relação com a maneira como nosso cérebro reconhece as palavras.

Seria muito fácil colocar a culpa somente no magistério. Na realidade, foram os pedagogos e os psicólogos, os primeiros a preconizar a leitura global[49]. Desde o século XVIII, o *Dictionnaire pédagogique* de Nicolas Adam (1787) retoma as teses do abade Radonvilliers, segundo as quais, a aprendizagem silábica "atormenta" as crianças para lhes fazer "memorizar um grande número de letras, de sílabas e de sons dos quais não devem compreender nada", enquanto seria necessário "divertir com

palavras inteiras" escritas sobre cartas de baralho. No final do século XIX, em seu laboratório nos Estados Unidos, James McKeen Cartell anuncia ter descoberto que as palavras são reconhecidas globalmente mais rápido que as letras que as compõem. Seus trabalhos foram retomados pelo psicólogo suíço Édouard Claparède, para quem a aprendizagem da leitura deveria se apoiar sobre a percepção naturalmente "sincrética" da criança. O doutor Ovide Decroly incorpora essas ideias no seu método "ideovisual" que obteve um sucesso oficial na Bélgica nos anos 1930 e recebeu o assentimento de Jean Piaget e, sobretudo, de Henri Wallon, influente professor no Colégio de França, onde ocupa a cadeira de psicologia da infância e da educação de 1937 a 1944. Ministro da Educação nacional, elaborará com Paul Langevin e Henri Piéron, depois da guerra (1947), um ambicioso plano de reforma do ensino.

Por outra via, a ênfase sobre a forma global da palavra invade o mundo da tipografia, onde uma palavra especial, a "bouma" (a partir do nome do psicólogo holandês Herman Bouma), faz referência ao contorno das palavras. Para melhorar a legibilidade, os tipógrafos concebem tipos com caracteres que produzem "boumas" o mais distintas possível.

A ILUSÃO DE UMA LEITURA GLOBAL

Como cientistas e psicólogos conscienciosos chegaram a uma conclusão hoje considerada errônea? Importa compreender e refutar um por um os argumentos científicos que conduziram à falsa ideia de uma leitura global das palavras. Um artigo recente resenha pelo menos quatro observações falaciosas que constituem tantos pilares da ilusão da leitura global[50].

1. **O tempo de leitura de uma palavra não depende do número de letras que ela contém.** Seja qual for o tamanho (num intervalo de em torno 3 a 8 letras), gastamos tanto tempo para ler as palavras pequenas quanto as grandes. Essa descoberta parece dar crédito à ideia de que o reconhecimento de uma palavra não passa pela sua decomposição em letras. Introspectivamente, a leitura de uma palavra nos parece uma operação elementar imediata que reconhece a cadeia de letras como um todo indivisível. Contudo, sabemos hoje que essa conclusão não se sustenta. No leitor adulto, se o tamanho das palavras não influencia a leitura, isto não acontece porque nosso cérebro não presta nenhuma atenção às letras, mas, sim, simplesmente porque ele as trata todas simultaneamente e não uma a uma. Além disso, na criança, as coisas são bem diferentes. Durante os anos de aprendizagem, o tempo de leitura é estritamente proporcional ao número de letras e esse efeito de tamanho leva vários anos a desaparecer. Assim, na criança, é ainda mais evidente que a leitura não é global.

2. **O reconhecimento de uma palavra pode ser mais rápido ou mais eficaz do que o de uma só letra.** Esse efeito fascinante descoberto por Cattell foi replicado por Reicher e popularizado sob a expressão "efeito de superioridade lexical": nós o examinamos no Capítulo 2. Apesar de sua origem ainda não bem compreendida, ele não é hoje considerado como a prova de que o reconhecimento global da palavra preceda a extração das letras. Pelo contrário, as análises recentes mostram que a leitura de uma palavra no ruído se deduz diretamente da taxa de reconhecimento de cada uma de suas letras[51]. Ao acessarmos mais rapidamente a palavra, isso ocorre, talvez, porque a atenção consciente se oriente mais facilmente em direção aos níveis mais elevados da hierarquia cortical, enquanto um esforço de atenção focal é necessário para acessar a identidade das letras (mesmo se essa for calculada primeiro[52]). O tamanho das populações neuronais concernentes deve, igualmente, favorecer o reconhecimento das letras no seio das palavras: um número muito elevado de neurônios, no nível lexical, semântico e fonológico, diferencia "fato" de "tato", enquanto um pequeno número de unidades visuais descarrega de modo distinto à apresentação das letras "t" e "f".

3. **A leitura das palavras em minúsculas é ligeiramente mais rápida que a das palavras em maiúsculas**. De acordo com os partidários do método global, essa rapidez seria devida à forma particular das minúsculas ascendentes e descendentes, que engendra um contorno próprio de cada palavra (a "bouma" dos tipógrafos). Esse contorno desapareceria quando todas as letras aparecessem em maiúsculas, com o mesmo tamanho. Contudo, se utilizássemos realmente o contorno das palavras, não só deveríamos ser mais lentos, mas também deveríamos ser simplesmente incapazes de reconhecer as palavras em maiúsculas. *A fortiori*, a leitura deveria ser impossível, uma vez que apresentássemos as palavras CoM aS lEtRaS mIsTuRaDaS, o que quebra totalmente as regularidades do contorno. Pelo contrário, todas aquelas palavras permanecem totalmente legíveis. Conforme vimos no Capítulo 2, a área sensorial das palavras escritas, situada no córtex occípito-temporal esquerdo generaliza muito rapidamente as minúsculas em maiúsculas, inclusive de modo não consciente. A leve diminuição na leitura em maiúsculas não é, pois, crucial. Poderia ser causada simplesmente por sua menor familiaridade.

4. **Os erros tipográficos que respeitam o contorno global da palavra são menos fáceis de detectar do que os que o violam.** Isso não é inteiramente falso: se a palavra desejada for “testa”, detectamos menos frequentemente o erro ortográfico “tesfa” do que o erro “tesga”, no qual uma minúscula ascendente foi substituída por uma descendente. Contudo, o efeito não provém da forma global da palavra. Ele se explica integralmente pela semelhança entre as letras: o “f” de “tesfa” se assemelha mais a um “t” do que ao “g” de “tesga”. A experiência mostra que é a semelhança das letras e não a do contorno global, que determina a confusão entre as palavras[53].

Em resumo, hoje não há mais dúvidas a respeito: o contorno global das palavras não joga praticamente nenhum papel na leitura. O reconhecimento visual das palavras não repousa sobre a apreensão global de seu contorno, mas, sim, sobre a decomposição em elementos mais simples, as letras e os grafemas. A região cortical da forma visual das palavras trata todas as letras da palavra em paralelo, o que, historicamente, é responsável pela impressão da leitura global. Mas o fato de a leitura ser imediata não é senão uma ilusão, suscitada pela extrema automatização das etapas, que se desenrolam fora de nossa consciência.

A INEFICÁCIA DO MÉTODO GLOBAL

A ineficácia do método global de ensino da leitura é confirmada pela experimentação direta. Vários pesquisadores compararam o ensino da ortografia conforme o método fosse global ou analítico. Uma das mais belas experiências foi realizada por meu amigo Bruce McCandliss, professor no Instituto Sackler de New York[54]. Ele inventou um novo alfabeto artificial com um estilo incomum. Ele se escreve de baixo para cima, com a ajuda de letras cujos traços e curvas se tocam, de modo que suas curvas formam um contorno global contínuo. Eis quatro palavras escritas nesse alfabeto:

Sem sermos previamente informados, não nos damos conta, necessariamente, de que se trata de palavras de três letras – mas, observe, por exemplo, a letra “t” que recorre quatro vezes no exemplo.

Uma vez construído o alfabeto, Bruce McCandliss propôs a dois grupos de estudantes aprenderem a ler essas palavras. A alguns solicitou memorizarem a forma global, sem os prevenir da presença das letras, enquanto aos outros assinalou que as palavras a serem fixadas eram compostas por uma sequência de letras escritas de baixo para cima.

Examinemos passo a passo as consequências dessa simples diferença de apresentação. Depois de um dia de treinamento sobre uma primeira lista de trinta palavras, o grupo que prestava atenção à sua forma global as reconheceu *melhor* do que aquele que tinha que extrair as letras. Esse resultado concorda com a intuição de numerosos professores ao afirmarem que o método global é mais fácil para a criança, pelo menos no início. Mas isso não é verdadeiro senão para as vinte ou trinta primeiras palavras. A identificação das letras e dos grafemas demanda inicialmente mais esforço, mas os benefícios são evidentes.

A partir do segundo dia, quando Bruce McCandliss pediu aos estudantes que aprendessem uma segunda lista de palavras, os que prestavam atenção à forma global começaram a perder pé. Eles aprenderam as palavras novas – mas em detrimento de seu desempenho na primeira lista, que esqueceram rapidamente. Isso se repetiu a cada vez que uma nova lista de palavras era introduzida: era-lhes necessário partir do zero e eles perdiam o pouco que haviam aprendido na véspera. Nada mais normal, uma vez que eles tentavam aprender as palavras uma por uma, como se fossem caracteres chineses, tarefa extraordinariamente difícil, quando o número de palavras ultrapassa algumas dezenas e quando todas elas se assemelham.

Ao contrário, os que prestavam atenção às letras progrediam lentamente, mas com segurança. A cada dia, sua taxa de sucesso aumentava. Não apenas conseguiam de saída decifrar certas palavras novas a eles propostas, mas, além do mais, seu desempenho melhorava de forma igual para as palavras antigas embora não as tivessem revisado. Isso não era senão lógico: seu conhecimento crescente das letras lhes permitia decifrar as palavras cada vez mais facilmente, mesmo que não se lembrassem mais de tê-las visto.

Mas é a imagem cerebral que põe em evidência o efeito mais espetacular: o hemisfério *direito* se ativava para a leitura global, enquanto a

atenção voltada às letras o que ativava era a região clássica da leitura, a área occípito-temporal ventral esquerda. Dito de outro modo, a aprendizagem pelo método global mobilizava um circuito inapropriado, diametralmente oposto ao da leitura esperta.

A experiência de McCandliss põe em evidência dois limites maiores do método global. Primeiramente, a simples exposição às palavras escritas, sem aprendizagem explícita das correspondências grafema-fonema, nem sempre é suficiente para a descoberta das regularidades da ortografia, em todo o caso, não de modo sistemático e rápido. Mesmo depois de haver sido exposto a milhares de palavras escritas, um adulto desprevenido pode muito bem jamais se dar conta de que essas palavras são compostas com a ajuda de um sistema regular de signos[55].

Segundo limite: o método global não permite generalizar o procedimento da leitura para as palavras novas. Ora, essa generalização joga um papel essencial na aprendizagem da leitura na criança. Nenhum professor pode esperar apresentar à criança todas as palavras do francês (ou do português)! Saber ler é, acima de tudo, saber decodificar milhares de palavras novas que encontramos pela primeira vez num livro, cuja pronúncia é necessário deduzir. Para progredir na leitura, a criança deverá, pois, se "auto-ensinar" – sozinha deverá saber decifrar as cadeias de caracteres novos a fim de reconhecer as palavras cuja pronúncia e significado ela já conhece e deverá automatizar progressivamente o conjunto desta cadeia de tratamento[56].

Esse ponto é capital porque ele refuta o argumento segundo o qual o método global faz crescer a liberdade e a autonomia das crianças. Paradoxalmente, a aprendizagem explícita das correspondências grafemas-fonemas é a única a oferecer à criança a liberdade de ler, porque somente ela lhe permite o acesso às palavras novas. É um erro opor a liberdade da criança ao esforço e ao rigor do ensino. Conquistar a liberdade de leitor demanda, sem dúvida, esforços da criança, mas eles são rapidamente pagos em retorno quando ela descobre, pela primeira vez, que consegue ler palavras que jamais tinha aprendido na escola.

Contudo, não desejaria dar a impressão de que a rejeição ao método global repousa somente sobre experiências de laboratório ou sobre argumentos teóricos. Sua ineficácia está igualmente provada pela experimentação em grandeza natural. Tirando partido da variabilidade dos métodos de ensino, a psicologia da leitura se beneficiou de experimentos nas escolas. Essas pesquisas, que emprestam seus métodos da epidemiologia, assim como da psicologia da educação, mediram os desempenhos em leitura das crianças em

testes estandardizados, não só em função do método de ensino empregado, mas também do nível socioeconômico, da idade e de outras variáveis.

Seus resultados[57], tanto na França quanto noutros países, conduzem a uma conclusão robusta: os enfoques baseados na forma global da palavra e em sua relação direta com o significado não funcionam tão bem quanto os baseados na relação sistemática entre os grafemas e fonemas. Independente de sua origem social, os alunos cuja atenção não foi direcionada à decodificação das letras e dos grafemas sofrem um retardo de leitura não desprezível que persiste durante muitos anos, mesmo se terminar depois por desaparecer.

Ponto crucial: contrariamente às afirmações dos "globalistas", ao final da escolaridade, os alunos que aprenderam a ler pelo método global têm não somente um desempenho pior na leitura de palavras novas, quanto são menos rápidos e menos eficazes na compreensão textual. Eis o que refuta a ideia de que os métodos grafo-fonológicos transformam o aluno numa máquina de soletrar, incapaz de prestar atenção ao significado. Na realidade, a decodificação e a compreensão caminham lado a lado: os alunos que sabem ler melhor as palavras e as pseudopalavras isoladas são também os que compreendem melhor o conteúdo de uma frase ou de um texto. Bem entendido, aprender a soletrar a pronúncia das palavras não deverá se constituir num fim em si mesmo. É bom que a maior parte dos livros escolares de hoje façam bem logo apelo a pequenos textos significativos mais que aos chamados textos matraca como "Mimi mama mumu". Mas a compreensão passa antes de tudo pela fluência da decodificação. Quanto mais rápido essa etapa for automatizada, melhor o aluno poderá se concentrar no significado do texto.

COMO ENSINAR A LEITURA?

O que recomendar, em definitivo, aos professores ou aos pais que desejam tornar ótimo o ensino da leitura? A etapa decisiva da leitura é a de decodificação dos grafemas em fonemas, é a passagem de uma unidade visual a uma unidade auditiva. É, pois, sobre essa operação que se devem focalizar todos os esforços.

Desde bem pequena, jogos simples preparam a criança para a leitura, tanto no plano fonológico, fazendo-a manipular os sons da fala (rimas, sílabas, a realização dos fonemas) quanto, no plano visual, fazendo-a reconhecer, memorizar e traçar a forma das letras. Desde esse estágio, que pode ter lugar na escola maternal, ter-se-á oportunidade de orientar bas-

tante cuidadosamente sobre as letras, a fim de que se torne claro à criança que cada letra se lê numa direção fixa e que um b, um p, um d, ou um q são, pois, formas diferentes. Escrevê-las ou traçá-las com o dedo contribui, certamente, a transpor, com sucesso, esta etapa importante.

Chegado o momento, a partir do início do curso preparatório, as correspondências entre grafemas e fonemas deverão ser ensinadas de um modo bastante explícito e sem medo de repeti-las. Não se pode supor que o aluno terminará por adquiri-las em consequência de ver muitas palavras. É preciso explicar claramente ao aluno que cada "som" tem suas "roupas", as letras ou grupos de letras que podem vesti-lo e que, inversamente, cada letra se pronuncia de uma ou de várias maneiras possíveis. Bem entendido, os grafemas serão introduzidos numa ordem lógica: começa-se pelos mais simples e mais regulares, aqueles que se pronunciam sempre da mesma maneira, como "v", "f", para incorporar na sequência, progressivamente, grafemas complexos como "on" em "ponto" e os grafemas mais raros e irregulares* como "x". Chamar-se-á a atenção sobre a presença das sequências de letras no interior das palavras, por exemplo, colorindo-as ou deslocando-as para formar novas palavras. Far-se-á igualmente compreender bem que as letras de uma palavra se encadeiam numa ordem precisa, sempre da esquerda para a direita, sem que nenhuma delas possa ser deixada de lado. Se necessário, poder-se-á cobrir a palavra com uma janela de correr, a fim de que não apareçam senão uma ou algumas letras a cada vez. Enfim, toda essa mecânica da leitura deverá conduzir ao significado. Não será escondido do aluno que a finalidade da leitura é a de compreender e não a de soletrar as sílabas. Cada ato de leitura deverá levar a palavra ou a frases compreensíveis pela criança, que as poderá resumir ou parafrasear.

Muitos professores não verão aí senão evidências há muito utilizadas na pedagogia há decênios. Contudo, a experiência mostra que torná-las explícitas não pode senão ajudar os professores. Lembro-me

* N. de R.T.: Os critérios adotados por Scliar-Cabral e seguidos no livro de alfabetização *Aventuras de Vivi* são: simplicidade dos traços que compõem a(s) letra(s): por exemplo, sendo iguais na maiúscula e minúscula: V e v; representar um fonema cuja realização pode ser articulada sozinha, como não é o caso das menos contínuas, isto é, das oclusivas; ser biunívoco, isto é, um e apenas um grafema representa o mesmo fonema e um e apenas um fonema é representado sempre pelo mesmo grafema, como é o caso de V à /v/ e não é o caso de s, ou do grafema g; o fonema representado pelo grafema não apresenta variantes determinadas pelo contexto fonético, como é o caso de /d/ e /t/, antes de /i/ ou /j/, nem variantes determinadas pelas variedades sociolinguísticas, como é o caso de /R/.

de um software em leitura, autodenominado de ***primé***, cuja primeira palavra apresentada ao aprendiz leitor era a palavra "*oignon*", talvez uma das palavras mais irregulares da língua francesa (o equivalente mais próximo no português, que possui um sistema de escrita muito mais transparente do que o francês, pode ser "roxinol"). Erros, tão ridículos como esse, mostram que os princípios da leitura estão longe de ser evidentes para todos!

Sem dúvida, talvez seja mais importante ainda sublinhar o que não deva ser feito. Desenhar o contorno global das letras não é de nenhuma utilidade, assim como chamar a atenção do aluno para o fato de que algumas letras sobem e outras descem. Esses exercícios podem mesmo cansar, na medida em que arriscam treinar o aluno a prestar atenção seja à forma global da palavra, seja a algum detalhe de seu contorno, o que o faria crer que é possível adivinhar a palavra sem analisá-la. O contorno das palavras "mate" e "mete" é quase idêntico – o aluno deverá compreender o mais rapidamente que não é senão analisando precisamente as letras que as contêm que as poderemos ler.

É pela mesma razão – a de não distrair a atenção do aluno do nível das letras – que eu desconfio dos manuais de leitura muito bonitos, ilustrados mais com imagens do que com textos e da atenção igualmente nos pôsteres fixados, grudados na sala durante todo o ano e onde as palavras aparecem sempre no mesmo lugar. Existe grande perigo de que certos alunos, frequentemente os mais brilhantes, aprendam de cor as posições fixas de cada palavra ou a aparência de cada página. Não é raro que um aluno dê, assim, a impressão de saber ler não somente aos que o cercam, mas também a si mesmo, o que é bem pior. A imagem afasta igualmente a atenção do texto. Num mundo onde domina o *zapping*, o aluno não aprende mais mantendo sua atenção durante longos períodos. Sem dúvida, não é inútil apresentar textos sóbrios, se possível, escritos na lousa diante dele e de lembrá-lo de que a leitura exige um esforço que traz sua própria recompensa, a compreensão da mensagem codificada.

Convém, igualmente, guardar-se de avançar muito rapidamente. A cada etapa de aprendizagem da leitura, as palavras e as frases propostas ao aluno não devem fazer apelo senão apenas aos grafemas e fonemas que lhe foram explicitamente ensinados. Uma lição de leitura, pois, não se improvisa – jamais ao professor inventar, no próprio dia, algumas frases ao azar, pois essas teriam todas as chances de afastar o aluno daquilo que já tenha aprendido.

Em virtude de termos nos tornado leitores espertos, subestimamos sistematicamente a dificuldade da leitura. Dissequemos, pois, letra a letra, os exemplos que propomos aos jovens leitores, até eliminar todas as dificuldades, com exceção daquela que nos compete ensinar. Atenção, pois, aos valores imprevisíveis do "e" e do "o"; à leitura dos ditongos nasalizados em final de vocábulo, como em "ler**am**"; à leitura das vogais nasalizadas nos dígrafos, no interior dos vocábulos, como em "c**an**ta"... Todas essas dificuldades podem fazer os alunos desistir e pensar que a leitura é o reino do arbitrário. Na condição de cientista e de professor, eu próprio, sugeriria que os professores e professoras aos quais confio meus filhos aportassem à pedagogia o mesmo zelo obsessivo que meus colegas e eu aportamos à concepção de uma experiência em psicologia.

Enfim, não nos rendamos ao desânimo, se nossos filhos experimentarem dificuldades ao ler. A aprendizagem da leitura não apresenta a mesma dificuldade em todos os países. O francês faz parte das línguas mais difíceis para ler e para ortografar (ao contrário do português). Verificamos que a transparência ortográfica é fraca: a cada grafema podem corresponder múltiplos fonemas e numerosas são as exceções. As comparações internacionais mostram que esta variável tem um impacto maior[58]. Um aluno finlandês ou italiano, em alguns meses, sabe ler não importa qual palavra em sua língua, porque essa não sofre praticamente nenhuma irregularidade. Ele não fará ditado, nem aprenderá a soletrar as palavras, porque essas atividades não fazem sentido: uma vez compreendido como se pronuncia cada grafema, sabe-se ler todos os grafemas e uma vez compreendido como se converte a classe de sons num grafema, qualquer um deles será realizado pela(s) respectiva(s) letra(s). Inversamente, os alunos franceses, dinamarqueses e, sobretudo, ingleses levarão muitos anos para convergir em direção de uma leitura eficaz. Mesmo aos nove anos, um aluno francês não se sai tão bem quanto uma criança espanhola de sete anos e serão necessários cerca de dois anos de ensino suplementar para que uma criança inglesa atinja, enfim, o nível de leitura de uma criança francesa (Figura 5.3).

A reforma da ortografia francesa ou inglesa não sendo para amanhã, não resta senão resignar-se, fazer praticar sem descanso a leitura pelos alunos, ensinar pacientemente cada uma das exceções da bela língua... e pensar em que a situação poderia ser bem pior: os alunos chineses não passam a maior parte do tempo de seus primeiros anos escolares aprendendo caracteres novos? Sua situação é, contudo, mais paradoxal, pois um bom número deles aprende, em alguns meses, um alfa-

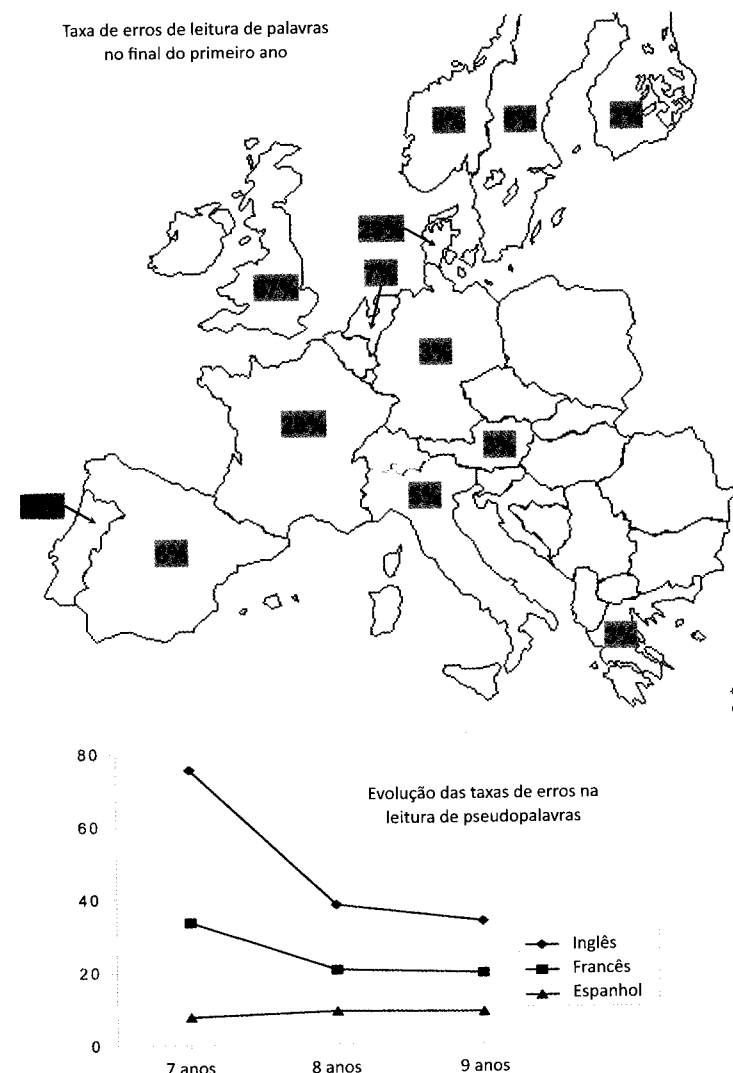



Figura 5.3 As línguas europeias não são iguais em relação à aprendizagem da leitura. As taxas de erros na leitura de palavras muito familiares foram medidas depois de um ano de aprendizagem em quinze países europeus (ao alto, dados de Seymour et al., 2003, tabela 5). Os alunos finlandeses, alemães, gregos, austríacos e italianos, cuja ortografia é transparente, são já excelentes leitores. No outro extremo da escala, os ingleses não sabem ler senão uma dentre três palavras. Os estudantes franceses têm desempenhos intermediários. Essas desigualdades reaparecem ano após ano, particularmente na leitura de pseudopalavras, tais como "cátego" ou "exompe", as quais somente o procedimento de decodificação grafema-fonema permite ler (embaixo, dados de Goswami et al., 1998, tabela 8). São necessários um ou dois anos de aprendizagem suplementar para um estudante inglês atingir o nível de leitura de um estudante francês.

beto muito simples, o *pinyin*, que lhes serve, em seguida, para registrar a pronúncia dos caracteres tradicionais[59].

O professor de francês deveria ter sempre presente em seu espírito que o longo período de aprendizagem da leitura não é inútil. Que ele pense simplesmente na intensa ebulição neuronal cuja sede é o cérebro do aluno. Cada aprendiz leitor deverá colocar no devido lugar, na região ventral de seu hemisfério esquerdo, toda uma hierarquia de neurônios que codificam as letras, os bigramas, os grafemas e os morfemas. Que o desejemos ou não, essa hierarquia é bem mais complexa no inglês e no francês que em línguas como o italiano ou o português, nas quais a colocação das letras em seus respectivos lugares é suficiente para iniciar. A quantidade de reciclagem neuronal que exige o francês é impressionante. Ensinemos, pois, pacientemente, e mesmo por muito tempo após o período preparatório, cada uma das armadilhas do francês – elas são tão numerosas!

Creio vital, enfim, que cada professor conheça, mesmo que de longe, os mecanismos do cérebro da criança. Se você tivesse, como eu, passado algumas horas da vida, corrigindo programas de computador defeituosos, ou reparando um programador de uma lavadora, você saberia muito bem que uma grande parte da dificuldade consiste em representar-se bem o que faz a máquina. É necessário imaginar o estado no qual ela se encontra a fim de compreender como ela interpreta os sinais que lhe transmitimos a fim de identificar as intervenções que levarão ao estado desejado.

Ora, o cérebro de nossas crianças é uma formidável pequena máquina de aprender. Cada dia passado na escola modifica um número vertiginoso de sinapses. Preferências balançam, estratégias novas emergem, automatismos se estabelecem, redes novas se falam. Estou persuadido de que, compreendendo melhor essas transformações, os professores chegarão a conceber, com a ajuda de psicólogos, novas estratégias mais eficazes para cada aluno. Claro, a pedagogia não será jamais uma ciência exata. Contudo, entre a infinidade de formas de alimentar um cérebro com palavras, algumas são bem melhores do que outras. Cabe a cada professor experimentar com zelo e rigor a fim de identificar, dia após dia, os estímulos ótimos com os quais se alimentarão os alunos.

NOTAS

1 Para excelentes resenhas sobre o desenvolvimento da leitura e sobre as implicações ao seu ensino, ver Rayner & Pollatsek, 1989; Ehri, Nunes, Stahl & Willows, 2001; Rayner, Foorman, Perfetti, Pesetsky & Seidenberg, 2001 e, em francês, Bonin, Fayol & Peereman, 1998.
2 Eimas, Siquelad, Jusczyk & Vigorito, 1971; Werker & Tess, 1984; Kuhl, 2004.
3 Mehler et al., 1988.
4 Dehaene-Lambertz & Dehaene, 1994 ; Choeur et al., 1998 ; Dehaene-Lambertz et al., 2002; Pena et al., 2003.
5 Kuhl, 2004.
6 Saffran, Aslin & Newport, 1996; Marcus, Vijayan, Bandi Rao & Vishton, 1999; Altmann, 2002; Marcus & Berent, 2003.
7 Chomsky, 1980.
8 Pascalis & de Schonen, 1994; Tzourio-Mazoyer et al., 2002; de Haan, Johnson & Halit, 2003.
9 Pascalis, de Haan & Nelson, 2002., Pascalis et al., 2005.
10 Robinson & Pascalis, 2004.
11 Gathers, Bhatt, Corbly, Farley & Joseph, 2004.
12 Frith, 1985.
13 Seidenberg & McClelland, 1989; Hutzler, Ziegler, Perry, Wimmer & Zorzi, 2004.
14 Goswami (1986) demonstrou que certas crianças inglesas, desde os 5 anos, descobrem espontaneamente as analogias na estrutura interna das palavras. Depois de haverem lido a palavra “beak”, elas conseguem explorar esta competência para ler outras palavras como “bean”, ou “peak”. Contudo, a importância desses resultados foi contestada (Nation, Allen & Hulme, 2001). Parece que só o ensino explícito das correspondências grafema/fonema permite à criança compreender rapidamente a organização da escrita.
15 Morais, Cary, Alegria & Bertelson, 1979; Morais, Bertelson, Cary & Alegria, 1986.
16 Mann, 1986; Read, Zhang, Nie & Ding, 1986; Cheung & Chen, 2004.
17 Rayner & Pollatsek 1989; Rayner et al., 2001.
18 Castles & Coltheart, 2004.
19 Ehri & Wilce, 1980.
20 Stuart, 1990; o exemplo original consiste em retirar o som [n] de palavras como [bind].
21 Ou, inversamente, escreverá “fam”, quando se lhe dita a palavra “femme”. O desenvolvimento da escrita segue etapas paralelas ao da leitura, se bem que certas línguas, entre as quais o francês, sejam mais irregulares em seu sistema de escrita (relações entre fonemas e grafemas). Vejam-se Pacton, Perruchet, Fayol & Cleeremans, 2001; Martinet, Valdois & Fayol, 2004.
22 No francês, as regularidades e a complexidade silábica foram bem estudadas por Liliane Sprenger-Charolles e seus colaboradores (Sprenger-Charolles & Siegel, 1997; Sprenger-Charolles, Siegel & Bonnet,1998).
23 Aghababian & Nazir, 2000; Zoccolotti et al., 2005.
24 Veja-se, por exemplo, o *site* na Internet www.mrisafety.com.
25 Gaillard, Balsamo, Ibrahim, Sachs & Xu, 2003.

26 Shaywitz et al., 2002.
27 Turkeltaub, Gareau, Flowers, Zeffiro & Eden, 2003.
28 Orton, 1925, p. 608.
29 Simos et al., 2001; Maurer, Brem, Bucher & Brandeis, 2005.
30 Parviainen, Helenius, Poskiparta, Niemi & Salmelin, 2006.
31 Posner & McCandliss, 1999; McCandliss, Cohen & Dehaene, 2003.
32 Turkeltaub et al., 2003.
33 Castro-Caldas, Petersson, Reis, Stone-Elander & Ingvar, 1998.
34 Castro-Caldas et al., 1999.
35 Nieder, Diester & Tudusciuc, 2006.
36 Kolinsky, Morais, Content & Cary, 1987; Kolinsky, Morais & Verhaeghe, 1994.
37 Gauthier, Tarr, Anderson, Skudlarski & Gore, 1999; Gauthier, Skudlarski, Gore & Andreson, 2000; Wong, Gauthier, Woroch, DeBuse & Curran, 2005.
38 Michael Tarr e Isabel Gauthier (2000) propõem substituir o nome tradicional da região que responde aos rostos (FFA para *fusiform face area*, com referência à sua localização na região "fusiforme" do córtex occípito-temporal) pelo de *flexible fusiform area*. Contudo, longe de ser facilmente modificável, parece que esta região contém uma maioria de neurônios especializados para os rostos (Tsao et al., 2006).
39 Gauthier, Curran, Curby & Collins, 2003; Rossion, Kung & Tarr, 2004.
40 Marks, 1978; Cytowic, 1998; Ramachandran & Hubbard, 2001b.
41 Dehaene,1997.
42 Ramachandran & Hubbard, 2001a; Hubbard, Arman, Ramachandran & Boynton, 2005.
43 Dehaene, 1997, capítulo 3.
44 Hubbard et al., 2005; vejam-se igualmente Sperling, Prvulovic, Liden, Singer & Stirn, 2006.
45 Ramachandran & Hubbard, 2001b.
46 Mondloch & Maurer, 2004; Maurer, Pathman & Mondloch, 2006.
47 *National Institute of Child Health and Human Development*, 2000 ; Rayner et al., 2001.
48 *Centre national de documentation pédagogique*, 2002.
49 Bellenger, 1980.
50 Larson, 2004.
51 Pelli, Farell & Moore, 2003.
52 Ahissar & Hochstein, 2004.
53 Paap et al., 1984.
54 Yoncheva, Blau, Maurer & McCandliss, 2006.
55 Rayner et al., 2001; Bitan & Karni, 2003.
56 Share, 1995, 1999.
57 Braibant & Gérard, 1996; Goigoux, 2000; Ehri, Nunes, Stahl et al., 2001; Ehri, Nunes, Willows et al., 2001.
58 Seymour, Aro & Erskine, 2003.
59 Veja-se o Capítulo 2, p. 164.

6

O cérebro disléxico

Algumas crianças, a despeito de uma inteligência e de uma educação normal, apresentam grandes dificuldades na leitura. De onde provém esse déficit? Na maioria dos casos, a dislexia está associada a um déficit na manipulação mental dos fonemas. O cérebro das crianças disléxicas apresenta várias anomalias características: a anatomia do lobo temporal está desorganizada, sua conectividade está alterada, sua ativação no curso da leitura é insuficiente. Um forte componente genético está implicado e quatro genes de susceptibilidade foram identificados. Suspeita-se de que eles afetam o posicionamento dos neurônios do córtex temporal no transcurso da gravidez.

Essas anomalias implicam que a dislexia é incurável? Em absoluto. Novas estratégias de reeducação trazem uma grande mensagem de esperança: baseadas na aprendizagem intensiva no computador, elas melhoram os escores de leitura e conduzem a uma normalização parcial da atividade cerebral das crianças disléxicas.

> *Madame Everett traz um livro que se chama Ler sem lágrimas. No meu caso, seu título não era, certamente, justificado. [...] Eu era, no conjunto, enormemente desencorajado para a escolaridade. [...] Não era agradável sentir-se totalmente ultrapassado e deixado a sua própria sorte desde o início do curso.*
>
> Winston Churchill

Todos os professores do ensino fundamental, sejam quais forem seu talento e sua dedicação, depararam-se, um dia, com um desafio: uma criança que parece verdadeiramente diferente das outras, tanto ela parece incapaz de aprender a ler. Pode até ser que sua inteligência seja

vivaz, a saber, acima da média nas atividades de matemática ou nas práticas. Mas, quando se trata de ler, isso se torna um incrível peso, ela hesita a cada sílaba, mistura os sons, adivinha sem refletir, desencoraja--se... e desencoraja igualmente os que a cercam. Pelo viés de alguns testes de leitura de pseudopalavras, ou de velocidade de leitura, uma visita ao fonoaudiólogo conduzirá a um diagnóstico bem conhecido e sempre duvidado pelos pais: o de dislexia.

Quais mecanismos cerebrais se escondem, pois, por trás desse termo familiar? Os avanços da ciência da leitura permitem compreender sob qual armadilha tropeçam suas crianças? Trata-se de um simples "bloqueio psicológico", se é que esse termo tenha algum sentido, ou bem de uma autêntica patologia cerebral? Quais as áreas, quais neurônios, ou melhor, quais genes estão implicados? Quais as terapias que podemos considerar?

Neste capítulo, percorramos juntos 30 anos de pesquisas sobre a dislexia, que partiram desde uma definição puramente psicológica até os estudos de imagem, de anatomia e de genética, para chegar-se à concepção dos softwares especializados na reeducação desse handicap tão frequente. A identificação dos fatores de risco da dislexia, a determinação de suas bases genéticas, a checagem dos cromossomos e dos genes concernentes, a compreensão dos mecanismos biológicos que eles controlam constituem um magnífico capítulo da pesquisa sobre o cérebro humano – um capítulo sempre em curso de ser reescrito, pois, nos últimos anos, não passa um mês sem que apareça alguma novidade descoberta sobre a genética, ou as bases cerebrais da dislexia.

O QUE É A DISLEXIA?

A definição de dislexia leva em conta sua própria singularidade. Trata-se de uma dificuldade desproporcional de aprendizagem da leitura, que não pode se explicar nem por um retardo mental nem por um déficit sensorial, nem por um ambiente social ou familiar desfavorecido. Uma consequência importante desta definição é que todos os maus leitores não são disléxicos. Uma surdez mal despistada, um retardo mental, más condições de educação, ou simplesmente a complexidade das regras de ortografia podem explicar por que muitas crianças experimentam dificuldades para aprender a ler. Não é senão quando todas essas causas são eliminadas que se falará de dislexia em senso estrito.

Estima-se que entre 6 e 8% das crianças francesas em idade de alfabetização sofrem de dislexia[2]. Embora essa cifra seja assustadoramente elevada, é necessário compreender que ela se reveste de uma parte arbitrária, porque inteiramente dependente do teto que se escolhe para definir a leitura "normal". Com efeito, no seio de um grande grupo de crianças, os escores nos testes de leitura formam uma perfeita curva de sino[3]. Se esta curva tivesse apresentado dois picos, um para os escores normais, outro para os escores baixos, teria sido fácil definir objetivamente uma população de crianças disléxicas. Contudo, a curva não apresenta senão um pico em seu centro – é, pois, difícil colocar uma fronteira que separe, de modo não arbitrário, as crianças normais das disléxicas. A realidade é que as facilidades de aprendizagem da leitura formam um contínuo, desde a criança para quem tudo parece fácil até o meio da classe que segue normalmente e, enfim, até os alunos em atraso, cujas dificuldades são mais ou menos severas. As porcentagens de prevalência da dislexia não refletem, pois, senão a barra que decidimos colocar mais ou menos no alto, em função das consequências sociais do déficit. Estima-se, com razão, que as crianças cujos escores em leitura descem abaixo da barra de 5 a 10% passarão por dificuldades num mundo que exige um domínio sempre grande do escrito.

É para concluir, contudo, que a dislexia é uma pura construção social, um mito ligado à super medicalização de nossa sociedade? Certamente, não. Numerosos índices militam em favor de uma origem cerebral desse handicap. Desde os anos de 1950, observou-se em certas famílias "de risco" uma grande proporção de crianças disléxicas. Vastos estudos de genética comportamental, conduzidos notadamente na Universidade do Colorado por John DeFries e seus colaboradores em várias centenas de famílias, confirmaram a grande hereditariedade das competências ligadas à leitura. Eles demonstraram notadamente que os gêmeos verdadeiros (monozigotos) apresentam escores bem mais estreitamente correlacionados que os falsos gêmeos (dizigotos) do mesmo sexo. Entre irmãos, se um dos membros for acometido de dislexia, a probabilidade de que um de seus parentes diretos sofra da mesma patologia é da ordem de 50%.

Concorda-se hoje com pensar que a dislexia, na maioria dos casos, possui fortes bases genéticas, mas não é uma doença monogênica, isto é, ligada à mutação de um só gene. Um feixe de fatores de risco e um buquê de genes conspiram provavelmente para perturbar a aprendizagem da leitura. Não fiquemos surpreendidos pelo fato de tantos genes intervirem nesta competência cultural. A leitura esperta depende de uma feliz combinação de conexões que temos a chance de possuir, desde o início

em nosso cérebro de primatas, e de anos de aprendizagem escolar que reciclam seus circuitos em virtude de um novo uso. Basta que alguns grãos de areia deslizem nesta mecânica neuronal e esse frágil processo de reciclagem, já difícil para todas as crianças, pode se tornar fonte de um enorme sofrimento para alguns.

PERTURBAÇÕES FONOLÓGICAS

Qual é a natureza exata da perturbação que afeta as crianças disléxicas? A despeito de pesquisas muito numerosas, um consenso começa somente a emergir da literatura científica. Numerosos resultados apontam na direção do papel essencial de anomalias fundamentais no tratamento fonológico[4].

As primeiras páginas desta pesquisa se escrevem desde os anos de 1970. Se bem que o objetivo da leitura seja o de compreender os textos escritos, reforça-se rapidamente que os problemas da maior parte dos disléxicos são originários de um nível mais fundamental, o da palavra. A partir de quando lhes solicitemos que leiam palavras isoladas, os erros e uma lentidão severa aparecem. Todas as crianças que apresentam os problemas de reconhecimento das palavras apresentam, igualmente, dificuldades de compreensão de frases e de textos: isto não nos surpreende. É assim que as hipóteses mais complexas, que associam a dislexia às anomalias no movimento dos olhos sobre a página, ou à má utilização do contexto semântico ou sintático das palavras na frase, desapareceram progressivamente, deixando lugar a um interesse crescente pelos mecanismos de reconhecimento de uma única palavra.

Os descobridores da dislexia, no início do século XX – Morgan, Hinshelwood, Orton –, a concebiam como uma patologia fundamentalmente visual, uma "cegueira congênita para as palavras". De acordo com eles, o sistema visual dos disléxicos misturava e confundia as letras, particularmente aquelas que se assemelham em espelho, como "b" e "p", ou "b" e "d". O grande público parece ainda aderir a esta hipótese, que não é, além do mais, desprovida de pertinência (nós retomaremos o tópico no próximo capítulo). Contudo, as pesquisas não lhes atribuem tanta importância quanto no passado. A atenção se deslocou em direção ao papel da decodificação fonológica. A grande maioria das crianças disléxicas sofre, com efeito, de um déficit particular na conversão dos signos escritos aos fonemas de sua língua. É a razão pela qual a leitura das

pseudopalavras constitui um dos melhores testes que separa as crianças com dificuldades dos alunos normais. Mesmo depois de anos de aprendizagem, certas crianças fracassam diante de cadeias novas tais como "trostalina" ou "lachavo". Se eles conseguem lê-las, seu tempo de resposta os trai: mais de 300 ms por letras, isto é, quase tanto quanto o de certos adultos aléxicos acometidos por lesões do córtex temporal inferior[5].

A dislexia seria, pois, um distúrbio da leitura de textos, causada por um problema ao nível das palavras, ele próprio causado por dificuldades na conversão dos grafemas aos fonemas. Podemos levar a análise um pouco mais longe? A comunidade científica concorda hoje em pensar que os problemas de conversão dos próprios grafemas-fonemas provêm de uma fonte fundamental. A maioria das crianças disléxicas sofre de distúrbios no tratamento dos fonemas e da consciência fonêmica. É, nesta medida, uma revolução intelectual: um déficit que parece restrito à leitura seria, em realidade, engendrado por déficits sutis na análise das classes de sons da fala.

Esta conclusão, em aparência improvável, fundamenta-se, contudo, sobre um feixe de índices convergentes. Relacionando-as às crianças cujo desenvolvimento é normal, as crianças disléxicas apresentam diferenças muito salientes nos testes de consciência fonêmica que avaliam a sensibilidade às rimas, à segmentação em fonemas, ou à recombinação dos sons da fala[6].

Muitos estudos colocam, por certo, um problema de circularidade: na medida em que a consciência fonêmica em si desenvolve-se com a aprendizagem da leitura e do princípio alfabético (já vimos que ela é pouco desenvolvida nos analfabetos), torna-se bem difícil separar as causas das consequências[7]. As crianças se saem mal na leitura porque não manipulam bem os fonemas? Ou bem, ao inverso, elas se saem mal na consciência fonêmica porque ainda não receberam os benefícios da alfabetização? Um círculo vicioso parece fechar-se em torno das crianças atingidas pela dislexia.

Pode-se, contudo, superar esta circularidade, realizando estudos longitudinais que sigam as mesmas crianças ao longo dos anos. Esses estudos indicam que, desde muito cedo, a medida precoce das competências fonológicas permite predizer os escores ulteriores da leitura. Um estudo longitudinal particularmente notável foi levado a cabo na Finlândia[8]. Heiki Lyytinen e outros estudiosos conseguiram seguir crianças disléxicas desde o nascimento – o que não deixa de colocar um paradoxo, uma vez que, nesta idade, bem astuto aquele que possa dizer se uma

criança sofre de distúrbios da leitura! A astúcia consistiu numa entrevista bem antes do nascimento a 410 futuros pais a fim de determinar em que medida eles apresentavam um risco familiar de dislexia. As crianças por nascer foram, assim, classificadas em duas categorias, grupo de risco e grupo controle, ao redor de uma centena em cada um.

Essas crianças foram em seguida acompanhadas por exames regulares a cada seis meses aproximadamente. Depois dos 7 anos, quando atingiram a idade normal para a aprendizagem da leitura na Finlândia, constatou-se que algumas (mas não todas) experimentavam, com efeito, grandes dificuldades. Remarquemos, então, que certos índices desde o primeiro ano de vida permitiam antecipar quem apresentaria dificuldades em leitura. Tal foi o caso de um teste de discriminação auditiva dos fonemas no bebê. No finlandês, a diferença entre *ata* (consoante breve) e *atta* (consoante longa) define uma fronteira categorial entre palavras. Ora, a detecção desse contraste fonológico era menor no grupo de risco. Esses bebês tinham necessidade de que se lhes apresentasse uma consoante de duração mais longa para que pudessem notar a diferença. O registro dos potenciais evocados mostrava igualmente uma diferença entre os grupos na região temporal esquerda, predizendo dificuldades ulteriores de leitura.

Assim se tece um laço estreito entre as competências fonológicas precoces e a boa aprendizagem da leitura. As crianças disléxicas parecem sofrer acima de tudo de uma representação imperfeita dos fonemas de sua língua, que introduz uma imprecisão na representação das palavras faladas e atrapalha seu emparelhamento com os signos escritos. Em algumas crianças, o déficit linguístico é tão manifesto que o diagnóstico muda: o neuropediatra não falará simplesmente de dislexia, mas de disfasia, ou de distúrbios generalizados da fala e da linguagem. Essa mudança de terminologia não deve provocar ilusão, porque a maioria dessas crianças experimenta grandes dificuldades de leitura.

Mas a questão mais importante se coloca na direção inversa: as crianças disléxicas sofrem sempre de déficits de percepção dos sons da fala, a saber, de distúrbios fundamentais da percepção auditiva? Embora esta questão permaneça muito controvertida, vários estudos sugerem que, na maioria das crianças disléxicas, a resposta é positiva. Assim, a percepção categorial dos sons da fala está frequentemente alterada[9] – as crianças experimentam dificuldades em detectar a minúscula diferença temporal que distingue *ba* de *pa*, particularmente na presença de ruído. Muitas vezes, o déficit se estende a tarefas não linguísticas[10]. A discriminação das frequências de tons puros, a detecção de uma breve interrupção de um ruído e, em particular, a percepção da ordem dos estímulos rápidos pode ser fortemente anormal e correlacionar estreitamente com os escores na leitura. A percepção visual da ordem temporal pode também estar alterada. Enfim, déficits visuais mais fundamentais ainda foram observados na percepção do movimento ou do contraste[11].

O problema, bem entendido, é que os déficits sensoriais poderiam acompanhar a dislexia apenas por azar, simplesmente porque sua patologia cerebral se estende a múltiplos domínios. Quais jogam, verdadeiramente, um papel causal na aprendizagem da leitura? Esta questão divide sempre a comunidade científica, porque é bastante sutil distinguir as causas, as consequências e as simples correlações parasitas da dislexia. Contudo, os distúrbios da percepção dos sons e muito particularmente sua ordem temporal parecem mais fundamentais que os outros na medida em que sua reeducação implica benefícios no domínio da leitura. Com efeito, uma equipe finlandesa concebeu um software de reeducação muito simples[12]. A criança aprende a jogar um jogo audiovisual que se parece ao célebre Merlin de nossa infância: ouve-se uma série de sons que variam em altura, duração e intensidade, e consiste em reconhecer qual forma visual a representa melhor. Por exemplo, uma fileira de retângulos empilhados cada vez mais alto pode ser associada a uma série ascendente. Depois de sete semanas de treinamento, na razão de apenas 10 minutos cada dia, duas vezes por semana, as crianças com dificuldade de leitura viram seus escores de reconhecimento de palavras aumentarem nitidamente mais rápido que aquelas do grupo controle, que não recebiam esse treinamento particular[13].

Assim, a atenção dirigida às correspondências audiovisuais parece se transferir à leitura. Pode-se visualizar neste treinamento uma metáfora da aprendizagem da notação musical. Embora os estudos controlados sobre esse tema sejam muito raros, a aprendizagem da música parece melhorar também a leitura[14].

A despeito desses sucessos, a questão de saber se *todas* as crianças disléxicas sofrem de déficits fonológicos e se estes, por seu turno, se reduzem a déficits sensoriais de baixo nível, permanece vivamente debatida[15]. Não é de duvidar que uma atividade tão complexa quanto a leitura resulte de múltiplas cadeias causais. Assim, diversas outras explicações para as perturbações da leitura foram pesquisadas, não só do cerebelo, que seria responsável pela automatização das aprendizagens[16], como a que causa uma desorganização dos neurônios da via "magnocelular", que veicula as informações temporais rápidas visuais e auditivas[17].

Conforme as teorias, o núcleo do déficit na dislexia ultrapassaria muito o simples tratamento fonológico: o distúrbio de leitura não seria senão a árvore que esconde a floresta dos déficits de automatização motriz ou de percepção dos estímulos rápidos.

Depois de ter testado essas ideias, Franck Ramus e seus colaboradores reafirmaram recentemente que, seja qual for a razão biológica última, um núcleo fonológico está na origem da maioria das dislexias. De acordo com eles, não é raro que as crianças disléxicas sofram de déficits concomitantes das funções motrizes, visuais ou auditivas, mas isto não é verdadeiro para todas as crianças, longe disto. Contrariamente às perturbações fonológicas, essas perturbações adicionais, mesmo participando da dislexia na condição de uma síndrome médica, não jogariam verossimilmente um papel causal central nas dificuldades de leitura[18]. Contudo, e isto é um ponto fundamental, Ramus e colaboradores não negam que uma minoria de disléxicos (talvez um quarto) apresente um déficit visual pronunciado sem perturbação fonológica evidente[19]. Conforme veremos no próximo capítulo, existem casos atestados nos quais a causa da dislexia se situa bem no nível visual.

Em definitivo, é talvez a pesquisa mesma da causa da dislexia que deva ser posta em questão. Sem dúvida, seria necessário aceitar o problema em toda sua complexidade, sem querer necessariamente reduzi-lo a uma causa única. Na interface entre natureza e cultura, nossa capacidade de ler resulta de um feliz concurso de circunstâncias, no qual um bom ensino joga um papel tão primordial quanto a presença prévia de processadores neuronais visuais e fonológicos corretamente interconectados. A hipótese segundo a qual o cérebro das crianças disléxicas sofre de uma dupla fragilidade, onde confluem as vias de reconhecimento visual invariante e o tratamento fonológico da língua falada, me parece, pois, particularmente plausível. Como veremos a seguir, a imagem cerebral sustém a hipótese de que é neste nível, na representação das conexões do lobo temporal, que se situa com frequência o nó do problema.

A UNIVERSALIDADE DA DISLEXIA

As crianças disléxicas sofrem de uma autêntica patologia cerebral? Inicialmente, era possível duvidar. Os neuropediatras sabem bem que, em tais perturbações específicas de aprendizagem, os exames de IRM são muitas vezes inúteis: à primeira vista, na ausência de estatísticas avança-

das, a anatomia cerebral dos disléxicos apresenta geralmente uma aparência normal. Assim, os mais céticos colocaram muitas vezes esta patologia à conta dos professores, dos pais ou do sistema socioeducativo em seu conjunto.

Muito felizmente, numerosos índices concordantes de uma importante herança genética da dislexia motivaram uma pesquisa mais aprofundada dos mecanismos neuronais. Graças a uma metodologia afinada nos últimos dez anos, os fundamentos biológicos da dislexia vêm à luz. Meu amigo Eraldo Paulesu, pesquisador da Universidade de Milão, coordenou em colaboração com outros colegas franceses e londrinos um dos estudos de imagem mais conclusivos[20].

Sua pesquisa partia de um paradoxo: não há praticamente nenhum diagnóstico de dislexia na Itália e esta patologia é mais rara na França do que na Inglaterra. Essas observações parecem colocar em dúvida a universalidade e a origem biológica dessa síndrome. A dislexia não seria senão uma etiqueta cultural importada da cultura anglo-saxônica imposta a uma faixa de crianças que, por razões ligadas à opacidade da ortografia e às condições de seu ensino, permaneceriam na cauda do pelotão. Eraldo Paulesu e seus colegas sublinham que se poderia muito bem concluir o inverso. Existiria em todos os países do globo uma fração de crianças cujo patrimônio genético e neurobiológico predisporia à dislexia – mas esta doença universal se manifestaria de modo mais ou menos evidente conforme as culturas. Ela não se tornaria um problema pediátrico importante senão nos países cuja escrita alfabética fosse particularmente opaca e demandasse um grande esforço de aprendizagem grafo-fonológica.

Para resolver o dilema, Paulesu pesquisou ativamente adultos italianos que, em especial, haviam tropeçado em leitura, no decorrer de sua escolaridade. Depois de haver submetido cerca de 1.200 estudantes a testes estandardizados, ele reteve 18, todos embaixo na escala, que poderiam ser considerados como autênticos disléxicos. Superficialmente, sua leitura era bem melhor do que a dos homólogos ingleses ou franceses (todos eles sabiam ler), mas relativamente aos escores dos leitores italianos normais, eles se situavam tão baixo quanto cada um dos outros grupos de disléxicos em relação aos sujeitos controles originários de seu próprio país.

Restava saber se havia o que quer que fosse de comum no cérebro desses disléxicos italianos, franceses e ingleses, em aparência, tão diferente. Para sabê-lo, Paulesu e seus colegas visualizaram o conjunto da rede cerebral da leitura, com a ajuda da câmera de pósitrons, enquanto os pacientes e seus controles liam palavras suficientemente simples que

não lhes colocassem dificuldades (a situação controle consistia em olhar figuras geométricas que se assemelhassem às letras). A comparação dos disléxicos aos seus sujeitos controles colocou, em evidência, uma anomalia muito clara. Toda uma parte do lobo temporal esquerdo foi bastante subativada, nos disléxicos e isto, no mesmo local e a um grau comparável nos três países (Figura 6.1). A despeito das variações culturais de superfície, a dislexia possui, pois, mecanismos cerebrais universais, ao menos para as escritas alfabéticas.

Um estudo muito recente recolocou em questão essas conclusões, sugerindo que o chinês poderia constituir uma exceção à regra[21]. A IRM sugere que as crianças que apresentam dificuldades em aprender a ler o chinês se caracterizam principalmente pela subativação de outra região diferente daquela de Paulesu: a região frontal média esquerda. A anomalia se situa bem perto da "área de Exner", cuja lesão conduz a uma agrafia – uma incapacidade para traçar as letras e as palavras bem formadas.

Deve-se, portanto, concluir, como o fazem os autores desse trabalho, que as redes da leitura e de suas patologias variam radicalmente conforme as culturas? Minha impressão é a de que suas conclusões necessitam ser muitíssimo nuançadas. Com efeito, e ainda bem que eles não valorizem esse resultado, mesmo em seu estudo, se vê uma clara subativação da região occípito-temporal ventral esquerda. Ela se situa a menos de 8 mm das anomalias comuns aos disléxicos italianos, franceses e ingleses! A ideia de um mecanismo universal da leitura sai, pois, reforçada mais do que enfraquecida.

Resta agora explicar por que encontramos, além desta anomalia comum, uma grande diferença de ativação frontal presente unicamente nos disléxicos chineses. Parece que a dificuldade, quando se aprende a ler em chinês, não reside tanto no nível fonológico, porém mais na memorização de no mínimo três mil caracteres distintos. Para se ajudarem, os pequenos chineses utilizam uma memória motriz do traçado dos caracteres. Pode-se, então, supor, que as crianças que fossem atingidas por uma desorganização precoce da região de Exner, implicada nos gestos da escrita, sofreriam de dificuldades de leitura particularmente salientes em chinês.

Assim, mesmo se a leitura empreste de todas as culturas vias anatômicas idênticas, sua vulnerabilidade à patologia poderia diferir: os distúrbios fonológicos seriam preponderantes nas escritas alfabéticas, enquanto a dislexia "grafomotriz" predominaria nas escritas asiáticas – mesmo se os dois subtipos existam verossimilmente em todos os países[22].

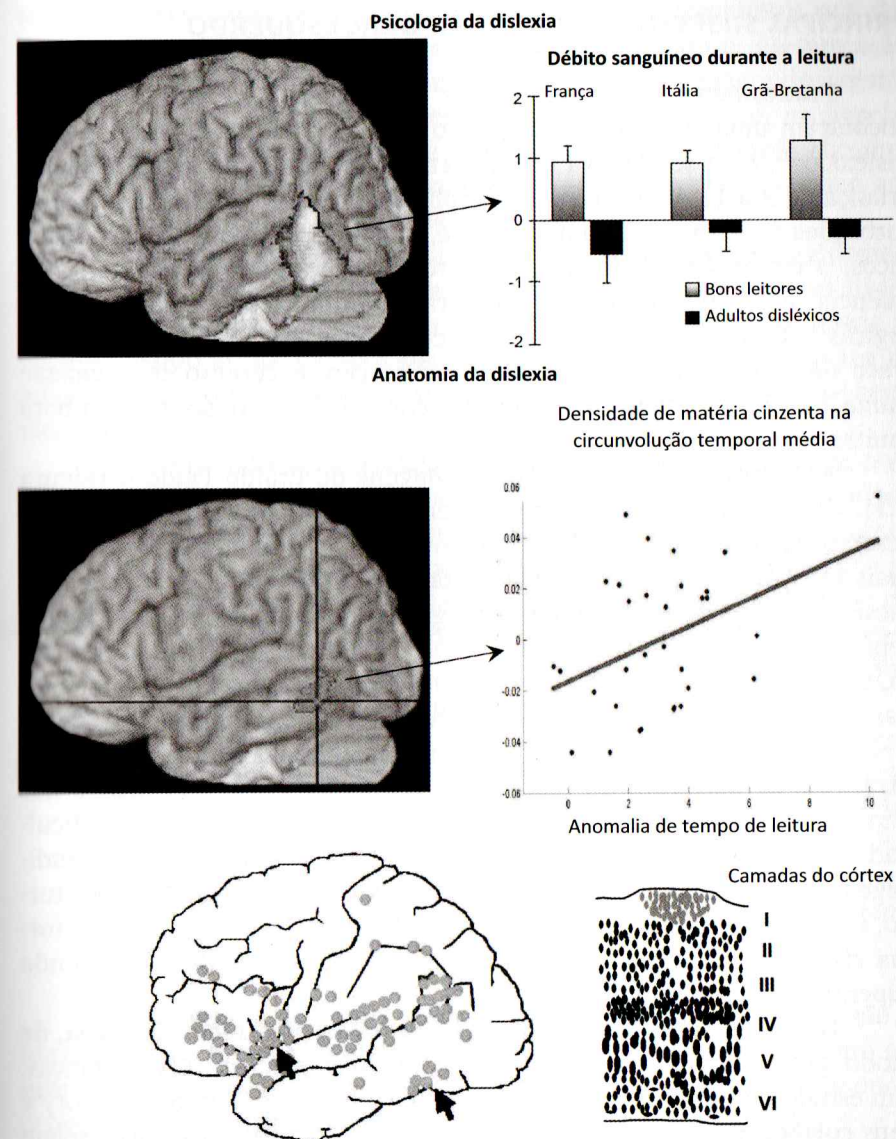



Figura 6.1 Importantes desorganizações corticais são com frequência observadas no cérebro dos disléxicos. A ativação cerebral estimada pelo débito sanguíneo é anormalmente fraca nas regiões média e inferior do lobo temporal esquerdo (ao alto, cf. Paulesu et al., 2001). Nas mesmas pessoas, um aumento da densidade de matéria cinzenta, correlacionada com as perturbações da leitura, é observada na região temporal média (ao meio, cf. Silani et al., 2005). Nos raros casos, em que uma autópsia foi praticada (embaixo), Albert Galaburda e colaboradores (1985) observaram numerosas "ectopias" – grupos desorganizados de neurônios que migraram além de sua posição normal nas camadas do córtex. Essas ectopias são particularmente densas nas regiões linguísticas e visuais essenciais à leitura.

PRINCIPAL SUSPEITO: O LOBO TEMPORAL ESQUERDO

Praticamente todos os estudos de imagem cerebral da dislexia encontram uma subativação na região temporal posterior esquerda nos disléxicos[23]. Essa se observa não somente no adulto, mas igualmente na criança de 8 a 12 anos, onde sua amplitude prediz a severidade das perturbações da leitura. Outra anomalia é, igualmente, frequente: nos disléxicos, o córtex frontal inferior esquerdo (região de Broca) é, com frequência, superativado durante a leitura, ou durante outras tarefas fonológicas[24]. Tudo se passa como se, em compensação pela atividade muito fraca das regiões posteriores de decodificação, o cérebro se engajasse numa tentativa de leitura voluntária, controlada e consciente, embora muitas vezes infrutífera.

Ao examinar com atenção as imagens de Eraldo Paulesu (Figura 6.1), distinguem-se, de fato, pelo menos duas regiões subativadas, no cérebro dos disléxicos: o córtex temporal lateral e uma região temporal mais inferior que pertence à via visual ventral. É tentador especular – mesmo se não são senão hipóteses, agora – que a primeira subativação represente a causa da dislexia e a segunda, sua consequência. Com efeito, uma das funções associadas à região temporal lateral é o tratamento das informações fonológicas da fala (ver, por exemplo, a Figura 2.19). Uma anomalia muito precoce no posicionamento das redes neuronais explicaria as perturbações fonológicas observadas nos disléxicos e nas crianças de risco desde o primeiro ano de vida. Ela implicaria as dificuldades desproporcionais da consciência fonêmica e, portanto, da aprendizagem do código alfabético. Essas dificuldades fonológicas, por seu turno, impediriam a região occípito-temporal ventral esquerda, sede da forma visual das palavras, de adquirir sua habilidade – de onde a segunda superativação, observada nesse nível.

Nada exclui, naturalmente, que a região occípito-temporal seja, de modo igual, a sede de conquistas diretas, pelo menos, em certas crianças. Um estudo de imagem funcional o sugere com ênfase. Eamon McCrory e seus colaboradores apresentaram a adultos normais ou disléxicos sejam palavras, sejam desenhos a traço, pedindo-lhes que os nomeassem em voz alta. A região occípito-temporal ventral esquerda era a única a ser fortemente subativada nos disléxicos, tanto para as palavras quanto para as imagens. Não é impossível, com certeza, que a aprendizagem da leitura tenha aumentado a resposta desta região às palavras e aos desenhos (por exemplo, porque, nos bons leitores, esta região desenvolve numerosos detectores neuronais de T, L, e outras junções frequentes nos desenhos a traço). Mas parece mais provável – e foi esta a interpretação dos autores – que esta região tenha sido muito precocemente desorganizada nos disléxicos. Como esta região joga um papel único, na ligação das formas visuais à fonologia de uma língua, sua desorganização precoce poderia ter um impacto dramático na leitura, ao mesmo tempo em que um impacto menor no reconhecimento das imagens.

O cenário de um déficit duplo, visual e fonológico, sai reforçado pelas análises da sequência temporal das ativações cerebrais nos disléxicos. A técnica da sequência da magnetoencefalografia, que mede o decurso temporal dos campos magnéticos evocados quando o córtex se ativa, revelou duas anomalias sucessivas no desenrolar do reconhecimento das palavras.

- No seio das etapas visuais, depois de um tratamento inicial normal, os disléxicos não mostram a forte ativação occípito-temporal esquerda que, ao redor de 150 a 200ms constitui a assinatura do reconhecimento invariante da cadeia de caracteres[25]. Tudo se passa como se esta região não tivesse adquirido a capacidade de reconhecer, em paralelo, o conjunto das letras de uma palavra – o que explicaria a persistência nos disléxicos de uma enorme influência do número de letras sobre seu tempo de leitura[26].
- Num segundo tempo, depois de 200ms, enquanto os leitores normais ativam rapidamente as regiões laterais do córtex temporal esquerdo, nos disléxicos, a atividade aparece fraca à esquerda, mas muito mais intensa na região temporoparietal direita[27]. Pode-se pensar que isto traduz a ausência de acesso rápido à fonologia das palavras, bem como uma estratégia anormal de compensação pelo hemisfério direito.

Em resumo, a atividade funcional do cérebro dos disléxicos não é normal: várias regiões-chave não são suficientemente ativadas, tanto ao nível da análise visual quanto ao do tratamento fonológico. Mas de onde provêm essas anormalidades?

MIGRAÇÕES NEURONAIS

A observação das ativações cerebrais anormais provoca, como é natural, a colocação com mais acuidade da questão sobre as causas da

dislexia. Por que as regiões temporais esquerdas não são ativadas suficientemente? Elas foram lesionadas? Mal conectadas? O déficit reside na organização macroscópica dos feixes de conexões? Ou bem a um nível mais microscópico, nas moléculas que atapetam as membranas dos neurônios e de suas sinapses? O embrião de resposta de que dispomos sugere que todas essas pistas de pesquisa poderiam conter um fundo de verdade[28].

Comecemos pela organização anatômica do córtex e de suas conexões. As técnicas estatísticas finas revelaram recentemente que a IRM anatômica que acreditávamos normal nos disléxicos permite, de fato, detectar anomalias significativas. Uma dessas técnicas consiste em quantificar em todos os pontos do cérebro a densidade de matéria cinzenta – o córtex cerebral que contém as seis camadas de neurônios de nossos hemisférios cerebrais. Submete-se, em seguida, esta medida de densidade que estima de modo grosseiro a espessura e as pregas do córtex a uma análise estatística que compara os pacientes com um grupo-controle. Aplicada aos disléxicos italianos, franceses e ingleses do estudo de Eraldo Paulesu, esta técnica revelou uma profunda desorganização na região temporal esquerda, precisamente em relação às regiões cuja atividade é reduzida (Figura 6.1). A análise estatística identificou as regiões onde a matéria cinzenta era muito densa, e outros locais, todos ao lado, onde ela era rarefeita. Os aumentos de volume do córtex eram particularmente fortes e o distanciamento da normalidade predizia a velocidade de leitura dos pacientes[29].

Mas por que um aumento da quantidade de matéria cinzenta seria deletério? A IRM macroscópica não mostra os mecanismos neurais subjacentes. Contudo, raros casos de adultos disléxicos, mortos por uma outra causa, cujo cérebro foi autopsiado, podem nos esclarecer.

Desde 1979, o neurologista americano Albert Galaburga, do Hospital Beth Israel de Boston, examina o cérebro de um disléxico de 20 anos, seguindo-se, no decurso dos anos, o de vários pacientes[30]. Ele descobriu numerosas "ectopias", uma palavra de origem grega que significa que os neurônios não estão em seu lugar. É um fato pouco conhecido que, no cérebro do feto, no curso da gestação, os neurônios corticais se deslocam a distâncias consideráveis num vasto movimento migratório que os encaminha até a zona germinal em torno dos ventrículos, onde eles se formam por divisão celular, até sua posição final nas diferentes camadas do córtex.

A divisão e a migração dos neurônios são etapas críticas para a boa formação do cérebro – é neste instante que o cérebro do feto é mais sensível aos agentes patogênicos tais como o álcool, por exemplo. Ora, nos disléxicos, a migração neuronal parece alterada. Na autópsia, Albert Galaburda descobriu pequenos grupos de neurônios na superfície do córtex, como se eles tivessem ultrapassado sua posição normal. Noutros lugares, as camadas corticais mal formadas, "disfásicas", ou formando microdobras, sugeriam que os neurônios não tinham jamais chegado ao seu alvo. Enfim, parecia que certos sulcos corticais haviam perdido sua assimetria em favor do hemisfério esquerdo que apresentam no cérebro normal, traindo a especialização desse hemisfério para o tratamento da linguagem verbal.

Conforme Galaburda, essas anomalias são frequentes na dislexia. Sua combinação poderia explicar a miscelânea de super e subespessuras corticais que são vistas na IRM. As ectopias, por razões desconhecidas, se concentram principalmente no hemisfério esquerdo, em torno das áreas implicadas no tratamento da fala, mas igualmente na região occípito-temporal esquerda que joga um papel tão importante no reconhecimento visual das palavras (Figura 6.1). Fatiadas por neurônios mal colocados, essas regiões não mais funcionariam em seu nível ótimo, o que acarretaria déficits fonológicos e visuais sutis, com frequência transformados em dislexia.

Espera-se, evidentemente, que uma tal desorganização dos neurônios corticais tenha também um impacto negativo sobre suas conexões. É exatamente o que se observou com a IRM. Todos os estudos originados, no entanto, de laboratórios e de métodos diferentes sugerem uma profunda alteração de feixes bem específicos de conexões, situados na profundidade das regiões parieto-temporais do hemisfério esquerdo (Figura 6.2)[31].

O grau de desorganização das conexões corticais nesse ponto do cérebro prediz os escores de leitura, não somente nos disléxicos, mas igualmente no seio da população normal. Infelizmente continua muito difícil, com a resolução espacial da IRM, isolar com precisão as áreas corticais que conectam esses feixes alterados. Contudo, a posição das anomalias, no hemisfério esquerdo, justo próxima do córtex temporal subativado na dislexia, reforça a hipótese de uma desconexão parcial da região temporal esquerda do resto do cérebro, particularmente das regiões frontais[32].

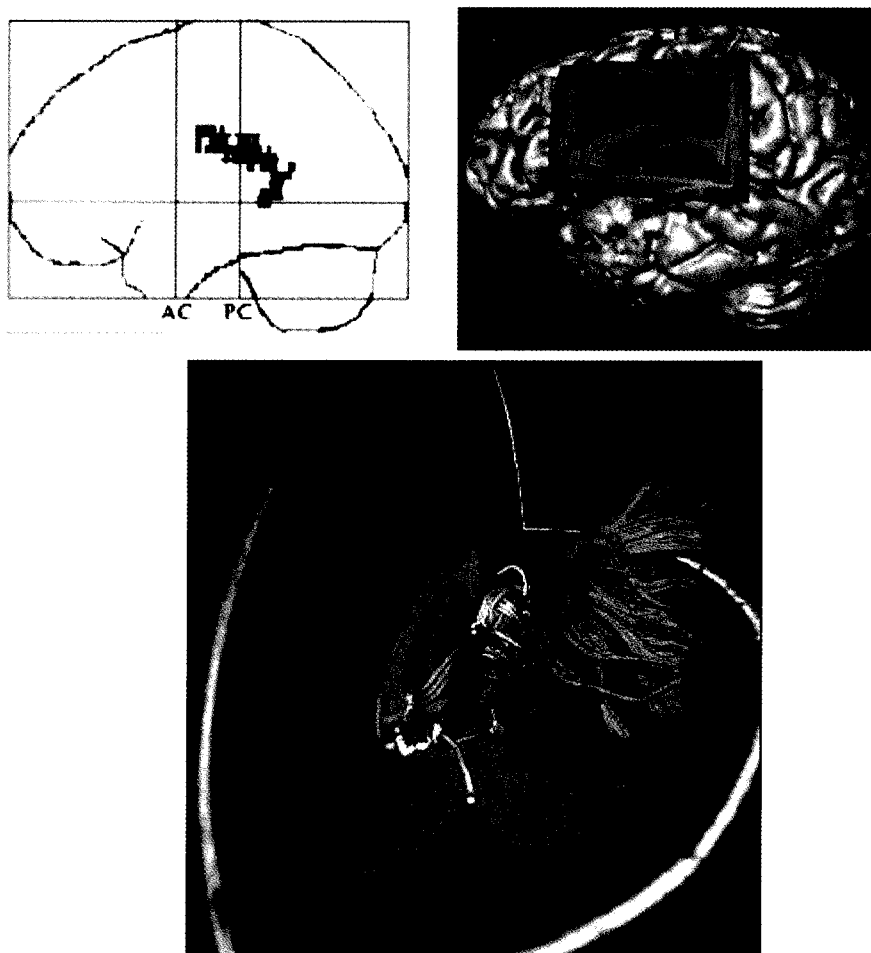



Figura 6.2 As conexões corticais a longa distância estão alteradas nos disléxicos. Vários estudos independentes mostram uma desorganização dos feixes situados na profundidade das regiões parieto-temporais do hemisfério esquerdo (à esquerda, Klingberg et al., 2000; à direita e embaixo, Beaulieu et al., 2005).

A RATAZANA DISLÉXICA

Para ir mais longe, seria necessário examinar a conectividade dessas regiões ao microscópio e sua atividade neuronal com a ajuda de microeletrodos – uma pesquisa virtualmente impossível no homem. Eis porque, para progredir na análise das bases biológicas da dislexia, Albert Galaburda se voltou para uma outra fonte de dados: o estudo do cérebro dos roedores.

De saída, a ideia de pesquisar as origens da dislexia no animal pode parecer absurda. Os zombeteiros, aliás, não deixaram de denegrir a descoberta de distúrbios da leitura na ratazana! Contudo, esta estratégia de pesquisa muito inovadora conduziu a alguns dos avanços recentes mais significativos sobre a neurobiologia da dislexia.

A ideia era reproduzir as anomalias de migração neuronal no animal a fim de melhor compreender os mecanismos e suas consequências. Para causar ectopias comparáveis àquelas observadas no homem, Galaburda e seus colegas inventaram um método original. Ele consistia em gelar as microrregiões do córtex do rato. Esta intrusão perturbava a membrana das células de suporte dos neurônios, as células "gliais", das quais um dos papéis é o de guiar a migração dos neurônios. Nos ratos assim enregelados se criaram então pequenos setores ectópicos para onde os neurônios migraram além de sua posição normal.

Os pesquisadores em seguida mostraram que esta perturbação acarretava toda uma cadeia de consequências inesperadas. Localmente, a desorganização cortical induzia a descargas neuronais anormais que podiam implicar a formação de um foco epiléptico ou, no mínimo, perturbações dos ritmos do eletroencefalograma. Mais surpreendentes eram os efeitos a grande distância das lesões iniciais. Pouco importa onde se praticassem as lesões corticais iniciais, no córtex frontal, parietal ou occipital: todas afetavam em retorno os núcleos sensoriais do tálamo, que controla o relé das entradas visuais e auditivas. Nos ratos, cujo córtex tinha sido enregelado, as células de tamanho grande do tálamo, que caracterizam a via dita "magnocelular", morriam a um ritmo anormalmente elevado. Em resumo, as microlesões do córtex favoreciam a morte celular no tálamo.

Numa ida-e-volta muito produtiva entre seu modelo animal e o cérebro humano, Albert Galaburda e colaboradores retornaram, então, a sua "biblioteca" de cérebros humanos disléxicos, onde replicaram as observações inicialmente feitas no rato. O setor auditivo do tálamo esquerdo das pessoas disléxicas continha muitos neurônios pequenos e muito poucos corpos celulares grandes[33]. Essas anomalias explicavam os déficits sensoriais dos disléxicos? De retorno ao animal, a mesma equipe concebeu novos testes refinados do comportamento auditivo que revelaram analogias muito mais profundas com a espécie humana. Os ratos enregelados tornaram-se insensíveis à ordem temporal de dois sons breves. Eles eram incapazes de captar uma breve interrupção numa série de sons – déficits semelhantes àqueles reportados nos disléxicos.

Há mais surpresas ainda: todas essas anomalias aparecem principalmente nos ratos machos. Nas fêmeas, a mesma quantidade inicial de lesões corticais não acarreta nem a morte celular no tálamo nem déficits sensoriais. As manipulações hormonais mostram que era a testosterona presente em maior concentração nos machos que amplificava os efeitos das lesões sobre o tálamo. De novo, é uma analogia potencial com a espécie humana. Embora esse ponto seja controverso, a dislexia parece afetar mais fortemente os homens que as mulheres. Se acreditássemos no modelo animal, deveríamos esperar, em realidade, que as perturbações fonológicas originárias das lesões corticais fossem tão frequentes nos homens quanto nas mulheres. Contudo, no homem, mais que na mulher, elas deveriam estar associadas a outras perturbações sensoriais auditivas e visuais que ainda viriam complicar a aprendizagem da leitura.

O modelo animal fornece, assim, uma cadeia explicativa completa, por certo hipotética, mas susceptível de explicar os principais traços cognitivos e anatômicos da dislexia[34]. De acordo com esse cenário, ao redor do sexto mês da gestação, as perturbações da migração neuronal acarretam o aparecimento de ectopias e de micro-sulcos. Esse empoeirado de malformações corticais concentradas sobre as áreas da linguagem vem fragilizar as representações fonológicas que serão indispensáveis seis anos mais tarde para a alfabetização. Em paralelo, ele implica uma cascata de anomalias secundárias das regiões sensoriais do tálamo, o que reduz ainda a precisão da codificação das entradas auditivas e visuais.

A GENÉTICA DA DISLEXIA

Resta compreender de onde provêm, no homem, as anomalias corticais que Albert Galaburda provoca artificialmente no rato. É aqui onde a genética joga um papel maior. Desde os anos de 1990, Galaburda e seus colegas procedem a um novo avanço, criando, por seleção, uma linha de ratos que apresenta espontaneamente grande probabilidade de sofrer ectopias corticais – um primeiro passo para a via de elucidação dos mecanismos genéticos que controlam a migração dos neurônios.

Em paralelo, vastas bases de dados genéticos sobre a dislexia são criados na Finlândia, no Colorado (Estados Unidos) e na Grã-Bretanha. Articulando as informações genéticas com os resultados de múltiplos testes psicológicos, elas permitem identificar ao menos seis grandes regiões do genoma humano, nos cromossomos 1, 2, 3, 6, 16 e 18, cujas variantes são com frequência associadas à dislexia. O estudo de famílias grandes cujos vários membros foram atingidos pela dislexia permite afinar a localização das regiões implicadas, de sorte que, em 2003, uma equipe finlandesa apresenta o primeiro candidato sério, o gene DYX1C1 no cromossomo 15. Desde então, as descobertas não cessam de se acelerar: em 2004 e 2005, foram identificados três outros genes de susceptibilidade à dislexia, respondendo aos doces nomes de KIAA0319, DCDC2 (todos os dois no cromossomo 6) e ROBO1 (no cromossomo 3)[35].

Por que tantos genes? Sem dúvida porque todos contribuem, de perto ou de longe, para as complexas operações de posicionamento dos neurônios corticais nas numerosas regiões essenciais à leitura. A construção de uma rede tão complexa se aparenta com a de um arranha-céu: são necessárias dezenas de arquitetos e empreendedores e basta que um dentre eles cometa um erro para comprometer o conjunto da obra. Por certo, cada arquiteto trabalha noutros projetos, assim como nenhum gene é inteiramente dedicado à leitura ou mesmo à fonologia – aliás, variantes de todos os genes citados acima existem nos ratos! Contudo, certos intervenientes jogam um papel verdadeiramente essencial na ossatura mesma do edifício ou na pedra angular. Se o edifício for frágil – e é o caso da leitura de uma escrita alfabética –, todo erro de uma parte pode conduzir ao desmoronamento.

No caso da leitura, a pedra angular parece ser a migração harmoniosa dos neurônios corticais em direção à região temporal esquerda e seu posicionamento em conexão com as regiões visuais e linguísticas. É um canteiro muito delicado: para guiar os neurônios que viajam da região ventricular até o destino final, posicionam-se, em primeiro lugar, andaimes formados por longos filamentos radiais de células gliais. Depois, cada célula glial mãe se divide, e suas células filhas se tornam os neurônios que virão literalmente engatinhar ao longo da mãe até o córtex.

Todos os genes implicados na dislexia contribuem para este imenso canteiro? Para sabê-lo, Joe Lo Turco e seus inúmeros colaboradores utilizaram, no rato, uma técnica de interferência ARN que permite interromper, transitoriamente, a tradução de um gene escolhido, controlando com muita precisão onde e quando esta interferência se produz[36]. Ao utilizar esta técnica *in utero*, na zona ventricular, no momento preciso da migração neuronal, eles demonstraram que os genes DYX1C1, DCDC2 e KIAA0319 jogam todos um papel essencial na migração neuronal. Quando sua tradução é bloqueada, os neurônios não migram para muito longe, o que engendra as ectopias e outros micro-sulcos característicos do

cérebro humano disléxico. Outros genes são implicados: o gene LIS1, por exemplo, trabalha em associação muito estreita com o DYX1C1 e joga um papel tão importante que sua perturbação acarreta uma ***lissencefalia: os hemisférios cerebrais são lisos (sem circunvoluções)*** e o córtex completamente desorganizado.

O que acontece com o quarto gene, ROBO1, associado à dislexia? No momento em que escrevo essas linhas, seu papel não é bem conhecido, mas existe um homólogo nos ratos, frangos e mesmo na mosca drosófila, nos quais ele controla a formação dos dendritos e dos axônios que ligam as metades direita e esquerda do sistema nervoso. O mesmo gene intervirá no homem, na formação das conexões do corpo caloso que liga igualmente os dois hemisférios, as quais, conforme veremos mais adiante poderão jogar um papel essencial nos aspectos da dislexia? A pesquisa genética está em curso e não é de duvidar que uma cadeia causal completa, desde o gene até o comportamento, terá lugar nos próximos decênios.

SUPERAR A DISLEXIA

A descoberta dos mecanismos neuronais e dos genéticos da dislexia acarretará avanços no seu suporte? Em curto prazo, isto me parece pouco provável, porque migrações neuronais acontecem durante a gestação, num momento em que é duvidoso que uma terapia possa ser tentada, seja por uma via medicamentosa clássica, seja por terapia gênica.

Impõe-se, desde agora, concluir que a dislexia restará para sempre incurável? Quando profiro conferências sobre a leitura e suas perturbações, localizo facilmente na sala os pais de crianças disléxicas. Muitos vivem cada avanço da ciência como uma apunhalada: é seu filho a quem falta massa cinzenta, em quem o córtex temporal não se ativa, cujos neurônios migraram mal, cujos genes são diferentes... cada uma dessas descobertas biológicas soa como uma condenação sem apelo.

Os professores, por seu turno, reagem com uma mistura de consolo e de desânimo. Quando eu lhes explico que a dislexia está associada a anomalias do cérebro, muitos concluem que ela ultrapassa sua competência. "Como você quereria que eu, um simples professor, que mal ou bem já tenho que ensinar a ler as crianças normais, possa curar uma doença do cérebro? Meu trabalho não é intervir no córtex."

Essas reações de desânimo, embora compreensíveis, são totalmente infundadas. Na origem desses excessos de pessimismo, creio identificar

ao menos duas ideias falsas que levantam de novo, ainda com muita frequência, os slogans sobre o cérebro e seu desenvolvimento. O primeiro desses erros consiste em associar a biologia a imobilismo, como se o que fosse ditado pelos genes permanecesse gravado por toda vida no mármore de nossos organismos, sem que pudéssemos mudar coisa alguma. Uma metáfora será suficiente para refutá-lo. Pensemos numa outra doença grave, com frequência de origem genética, que afeta milhões de franceses... a miopia, que um toque de laser ou o uso de óculos bastam, contudo, para eliminar. Quem diz que não poderemos jamais encontrar um equivalente cognitivo dos óculos para a dislexia?

Quanto ao segundo erro, mais sutil, ele traduz o que eu chamaria o "cripto-dualismo" de nossa sociedade. É a ideia de que todas as ajudas que prestamos à criança, no curso das sessões de fonoaudiologia, a reeducação, a escuta e o diálogo não intervêm senão num nível "psicológico" bem distinto do nível cerebral. Como todas essas intervenções poderiam mudar o que quer que seja de uma patologia dos circuitos neuronais? Contudo... como existe uma relação de identidade entre cada um de nossos pensamentos e os conjuntos de neurônios de nosso cérebro, não podemos tocar num sem afetar o outro.

Não digo, evidentemente, que, pensando com muito vigor, poderemos permitir a nossos neurônios que deixem de se multiplicar ou de migrar errado! Mas afirmo que a oposição das ciências da psicologia às do cérebro é desprovida de todo fundamento. Em nosso córtex, a imbricação dos níveis de organização é tal que toda intervenção psicológica repercute nos circuitos neuronais até os níveis celular, sináptico, molecular e vai, mesmo, modificar a expressão dos genes. Assim, não é porque uma patologia se situe numa escala neurobiológica microscópica que ela não possa ser compensada por uma intervenção psicológica... e vice-versa. O efeito do lítio sobre certas doenças psiquiátricas ou o tumulto que induzem as drogas sobre nossos estados cognitivos e afetivos estão lá para nos lembrar a que ponto as pontes entre a escala molecular e a organização do pensamento podem ser poderosas e diretas.

É necessário, pois, dizer e redizer aos pais das crianças disléxicas que a genética não é uma condenação à perpetuidade; que o cérebro é um órgão plástico, perpetuamente em obras, onde a experiência dita sua lei tanto quanto o gene; que as anomalias de migrações neuronais, quando existem, não afetam senão pequenas regiões do córtex; que o cérebro da criança compreende milhões de circuitos redundantes que podem se compensar um ao outro; e que, enfim, nossa capacidade de intervenção

não é nula: cada aprendizagem nova modifica a expressão de nossos genes e transforma nossos circuitos neuronais. Graças aos avanços da psicologia da leitura, podemos imaginar métodos melhores de aprendizagem e de reeducação da leitura. Graças às proezas da neuroimagem, poderemos verificar em que medida esses avanços restauram efetivamente os circuitos neuronais funcionais.

Desde uma vintena de anos, vários especialistas da leitura conceberam estratégias eficazes de reeducação[37]. A maior parte visa a aumentar a consciência fonêmica com a ajuda de manipulações das letras e dos sons. Apresentam-se, por exemplo, à criança palavras próximas cujo significado ela conhece (por exemplo, "mala" e "bala"). Mostra-se, então, que a substituição de uma letra por outra é suficiente para passar de uma palavra a outra. Pode-se, em seguida, explicar-lhe que a mesma letra pode servir para escrever outras palavras como "mesa", "muro", "mato", "medo", ou "mover". Através desses pequenos jogos, a criança toma progressivamente consciência do fonema /m/, e de sua correspondência com o grafema "m". Se a criança não entender bem os fonemas mais próximos, o fonoaudiólogo, ou o computador pode apresentá-los em versões exageradamente articuladas, mais fáceis de discriminar.

Vários ingredientes essenciais contribuem para o sucesso desses treinamentos. Existem, para começar, a duração do esforço e sua distribuição em sessões cotidianas intensivas e renovadas ao longo de várias semanas. Com efeito, numerosos estudos demonstraram que a plasticidade cerebral no homem como no animal é maximizada pela repetição intensa de uma mesma tarefa, intercalada por períodos de descanso. Contudo, é também não menos importante que a reeducação suscite na criança atenção e prazer. A vigilância e a recompensa modulam, com efeito, a aprendizagem. Elas são associadas a certos sistemas de neuromediadores ascendentes, particularmente a acetilcolina, cujo papel seria o de indicar ao resto do cérebro a importância e a pertinência que poderá aí haver para memorizar a situação presente (cada um conhece as lembranças instantâneas que as experiências emocionais fortes, como o 11 de setembro, inscrevem em nós). A experimentação animal o prova: quando associamos sistematicamente uma atividade perceptiva com a ativação de neurônios colinérgicos, aumentamos consideravelmente o lugar alocado a essa tarefa no córtex[38]. Por analogia, na criança, maximizar a atenção e as emoções positivas pode amplificar a aprendizagem.

Uma das estratégias consiste em apresentar a reeducação sob a forma de um jogo no computador[39]. A informática fascina as crianças.

Ela apresenta o interesse de gerar milhares de exercícios, sem lassitude e com o mínimo de custo. Enfim, sobretudo, o software pode se adaptar a cada criança. Os mais competitivos detectam o nível da criança e propõem automaticamente os problemas adaptados. Seu objetivo é o de indicar aquilo que o psicólogo russo Lev Vygostky chamou de "zona proximal" de aprendizagem – uma região do domínio que se procura ensinar onde a aprendizagem é máxima porque os problemas são suficientemente difíceis para suscitar o interesse da criança, mas suficientemente fáceis para evitar seu desestímulo. Obviamente, esta região evolui ao longo da aprendizagem e o computador segue *pari passu* os progressos da criança.

Sem ser miraculoso, o impacto das reeducações cognitivas da dislexia é substancial. Depois de algumas dezenas de horas de aprendizagem, as crianças cujos escores de leitura se situavam bem abaixo da média avançam para a parte baixa da normal (seus escores sobem 1 ou 2 do desvio padrão). A grande maioria das crianças disléxicas pode, assim, aprender a ler, mesmo se com uma decalagem em relação às outras crianças da mesma idade. Além do mais, os benefícios obtidos se mantêm por vários anos. Em geral, a decodificação das palavras se torna muito eficaz. Só a fluência em leitura continua a incomodar essas crianças: depois da reeducação, elas sabem ler, mas com lentidão. Esse desvio residual poderia ser simplesmente devido a sua experiência menor: em relação às outras crianças, lhes faltam vários anos de experiência de leitura. Passados os primeiros anos, aprende-se a ler... lendo! É necessário, pois, que essas crianças continuem a ler mais e mais, a fim de enriquecer seu vocabulário visual dos grafemas, dos morfemas e das palavras.

A imagem cerebral mostra que a reeducação intensiva produz dois efeitos maiores no cérebro: normalização e compensação[40]. No seio das redes típicas de leitura, a atividade se normaliza. Lembremo-nos de que o cérebro disléxico se caracteriza principalmente por uma diminuição da atividade na região temporal esquerda. Depois do treinamento, praticamente todos os estudos, sejam com a IRM, sejam com a magnetoencefalografia, observam um nítido ganho de atividade nesta região. Este aumento explica provavelmente a melhoria nos desempenhos fonológicos. Outras reativações se veem igualmente na região visual ventral, responsável pela identificação das cadeias de letras, e na região frontal inferior, associada à articulação (Figura 6.3). A cada vez, parece que uma região próxima, mas não exatamente idêntica à ativada na criança normal, assume o relé. Observam-se, igualmente, compensações mais radicais. A atividade cerebral aumenta notadamente nas regiões simétri-

cas do hemisfério direito. Sem dúvida, essas regiões comportam circuitos intactos suficientemente próximos da função requisitada para serem reciclados para a leitura.

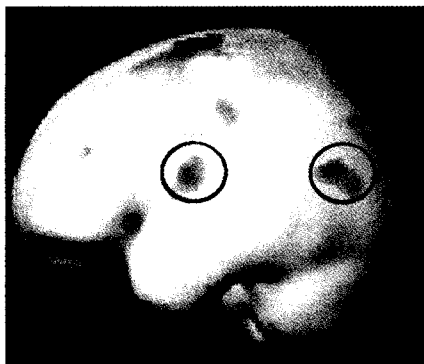
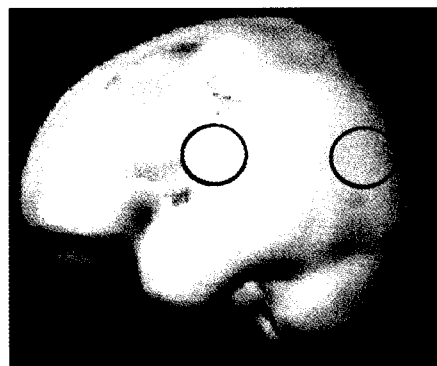
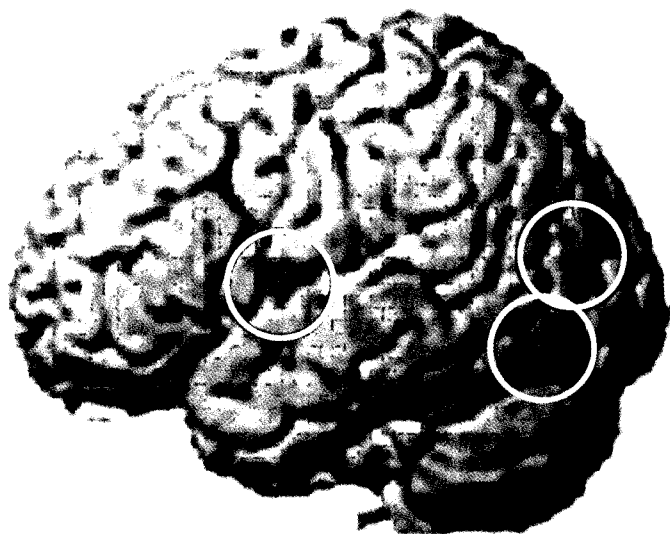



Figura 6.3 Uma reeducação intensiva pelo computador permite restaurar uma atividade cerebral próxima da normal nas crianças disléxicas. As imagens mostram as regiões cerebrais ativadas quando as crianças julgam se duas letras rimam. Depois do treinamento, a atividade se posiciona em regiões temporais e parietais próximas, mas não idênticas às observadas na criança normal. Outras regiões do hemisfério direito, não visíveis na imagem, mostram igualmente um ganho de atividade (cf. Temple et al., 2003).

Em definitivo, é uma grande mensagem de esperança que emerge desses trabalhos. Em alguns decênios, a análise da dislexia permitiu compreender o coração – uma perturbação fonológica –, os mecanismos neuronais e as maneiras de lhe aportar a reabilitação. Restam, contudo, numerosas interrogações que constituem outros tantos canteiros para os anos vindouros. Todas as dislexias têm a mesma origem? Podemos caracterizar mais finamente a patologia de cada criança, a fim de afinar seu tratamento? Enfim, deixamos de lado certas categorias de crianças que se beneficiariam de um enfoque totalmente diferente?

Mesmo se a pesquisa dos trinta últimos anos foi dominada pela hipótese fonológica, algumas dissensões procedem. É surpreendente, por exemplo, constatar que um dos testes mais sensíveis da dislexia é a denominação rápida de algarismos e de imagens, tarefa que não tem nada de especificamente fonológica. Através de vastos grupos de crianças, a denominação rápida e as tarefas fonológicas contribuem para explicar porções distintas da variância de escores de leitura – o que significa que, se existe uma maioria de crianças nas quais predomina uma perturbação fonológica, noutras, a dificuldade proviria acima de tudo da automatização do elo entre visão e linguagem. Teremos negligenciado uma categoria importante da dislexia de origem visual?

NOTAS

1. Churchill, 1930.
2. Fonte: *Expertise collective de l'INSERM sur les Troubles spécifiques des apprentissages*, 2007.
3. Shaywitz, Escobar, Shaywitz, Fletcher & Makuch, 1992.
4. Ramus, 2003; Vellutino, Fletcher, Snowling & Scanlon, 2004.
5. Zoccolotti et al., 2005.
6. Esta descoberta, que data do final dos anos 1970 (vejam-se, por exemplo, Liberman, Shankweiler, Orlando, Harris & Berti,1971; Bradley & Bryant, 1978; Fischer, Liberman & Shankweiler, 1978; Bradley & Bryant, 1983), foi inúmeras vezes replicada e ampliada. Para referências detalhadas, vejam-se as obras gerais citadas nas referências.
7. Castles & Coltheart, 2004.
8. Leppanen et al., 2002; Richardson, Leppanen, Leiwo & Lyytinen, 2003; vejam-se igualmente Benasich & Tallal, 2002; Maurer, Brem, Bucher & Brandeis, 2003.
9. Vejam-se, por exemplo, Breier et al., 2003; Breier, Fletcher, Denton & Gray, 2004.
10. Ahissar, Protopapas, Reid & Mezenich, 2000; Temple et al., 2000; Breier et al., 2001; Cestnick, 2001; Breier, Gray, Fletcher, Foorman & Klaas, 2002.

11 Eden et al., 1996; Demb, Boynton & Heeger, 1997; Demb, Boynton, Best & Heeger, 1998; Demb, Boyton & Heeger, 1998.

12 Kujala et al., 2001.

13 O fato de que o grupo de controle pareça não haver recebido nenhum treinamento particular coloca problemas, porque poderia ser que as crianças não tenham progredido em razão da atenção e do treinamento com o computador que elas recebiam. Para assegurar que as crianças disléxicas tirem bom proveito da associação abstrata entre sons e imagens, seria necessário replicar esse estudo com um plano experimental mais rigoroso.

14 Veja-se a resenha recente de Tallal & Gaab, 2006.

15 Para um exame prévio do debate e suas questões, vejam-se Ramus, 2003; Tallal & Gaab, 2006.

16 Nicolson, Fawcett & Dean, 2001. As anomalias anatômicas do cerebelo foram efetivamente observadas em certos estudos de grupo de crianças disléxicas (Eckert et al., 2002; Brambati et al., 2004). É necessário, contudo, observar que a teoria do cerebelo não está em conflito com a hipótese fonológica da dislexia. Com efeito o cerebelo, verdadeiro "cérebro pequeno" do cérebro, está conectado com virtualmente todas as grandes regiões corticais e contribui para praticamente todas as funções cognitivas, aí compreendido o tratamento da fala, da fonologia e da língua escrita, mesmo que seu papel permanença pouco estudado.

17 Gallaburda & Livingstone, 1993; Demb et al., 1997; Demb, Boynton, Best et al., 1998; Demb, Boynton & Heeger, 1998; Stein, 2001.

18 Ramus, Pidgeon & Frith, 2003.

19 Ramus, Rosen et al., 2003; White et al., 2006. Para uma exposição clara de uma teoria sobre as origens visuais da dislexia, vejam-se Valdois, Bosse & Tainturier, 2004.

20 Paulesu et al., 2001

21 Siok et al., 2004.

22 Concordando com essas hipóteses, existe pelo menos um caso bem documentado de uma criança bilíngue, nascida no Japão, filha de pais anglófonos, que aprendeu sem dificuldade a ler o japonês, tanto em caracteres kana quanto em kanji, mas que sofre de uma grave dislexia no inglês (Wydell & Butterworth, 1999).

23 Shaywitz et al., 1998; Brunswick, McCrory, Price, Frith & Frith, 1999; Georgiewa et al., 1999; Temple et al., 2001; Georgiewa et al., 2002; Shaywitz et al., 2002; McCrory, Mechelli, Frith & Price, 2005.

24 Shaywitz et al., 1998; Georgiewa et al., 1999; Georgiewa et al., 2002

25 Salmelin, Service, Kiesila, Uutela & Salonen, 1996; Helenius, Tarkiainen, Cornelissen, Hansen & Salmelin, 1999.

26 Zoccolotti et al., 2005.

27 Simos, Breier, Fletcher, Bergman & Papanicolaou, 2000; Simos, Fletcher et al., 2002.

28 Para resenhas recentes, vejam-se Habib, 2000; Ramus, 2004; Fisher & Francks, 2006.

29 Silani et al., 2005 ; para resultados parcialmente similares, vejam-se Vinckenbosch, Robichon & Eliez, 2005; Brown et al., 2001; Brambati et al., 2004. Mesmo que eu insista sobre essas anomalias do lobo temporal, não gostaria de esconder que a literatura sobre as anomalias anatômicas da dislexia repousa sobre uma grande complexidade na medida em que uma variedade de outras anomalias, nem sempre

replicadas de um estudo a outro, foi descrita: assimetrias do lobo temporal e do cerebelo, diminuição da matéria cinzenta na região frontal inferior esquerda, no lobo parietal inferior e no cerebelo direito... (vejam-se, por exemplo, Brown et al., 2001; Eckert et al., 2003; Eckert, 2004). Compartilho o aviso de Eraldo Paulesu quando ele afirma, com G. Silani, que essas observações "são verdadeiramente pertinentes para a dislexia, enquanto síndrome neurológica e para caracterizar a variedade de patologias subjacentes, mas talvez, menos instrutivas sobre a natureza das anomalias morfológicas que pertencem ao núcleo do déficit neuropsicológico da dislexia".

30 Galaburda, Sherman, Rosen, Aboitiz & Geschwind, 1985.

31 Klingberg et al., 2000; Beaulieu et al.; Deutsch et al., 2005; Silani et al., 2005; Niogi & McCandliss, 2006.

32 Paulesu et al., 1996.

33 Galaburda, Menard & Rosen, 1994.

34 Ramus, 2004.

35 Para um exame prévio desta bela investigação genética, vejam-se Grigorenko, 2003; Fisher & Francks, 2006; Galaburda, Lo Turco, Ramus, Fitch & Rosen, 2006.

36 Meng et al., 2005; Paracchini et al., 2006.

37 Veja-se, por exemplo, Torgesen, 2005.

38 Kilgard & Merzenich, 1998.

39 Merzenich et al., 1996.

40 Kujala et al., 2001; Simos, Fletcher et al., 2002; Temple et al., 2003; Eden et al., 2004.

7

Leitura e simetria

Na linguagem corrente, designa-se como "dislexia" toda a pessoa que confunde as letras em espelho e que mistura a esquerda com a direita. Será que a percepção da simetria joga um papel importante na leitura? Na realidade, as inversões esquerda/direita não são exclusivas da dislexia. Praticamente todas as crianças no início da aprendizagem, cometem erros de leitura e de escrita em espelho. Os estudos no animal mostram que a capacidade para reconhecer a simetria faz parte das competências essenciais do sistema visual: ela facilita o reconhecimento dos objetos independentemente de sua orientação. Quando uma criança aprende a ler, ela deve "desaprender" a generalização em espelho antes de compreender que "b" e "d" são letras diferentes. Em certas crianças, essa aprendizagem, que vai de encontro às capacidades espontâneas do sistema visual, parece apresentar uma fonte particular de dificuldades.

> *Em primeiro lugar, existe a peça que você pode ver no Espelho... Ela é exatamente igual à de nosso salão, mas as coisas estão no sentido inverso... Olha, você vê, os livros não se parecem tão mal com nossos livros, mas as palavras estão invertidas: sei isto muito bem, porque sustive uma vez um de nossos livros diante do espelho e, quando se faz isto, eles também sustêm um livro na outra peça.*
>
> Lewis Carroll, *Através do Espelho*
> (tradução para o francês por Jacques Papy)

Perto dos 5 anos, meu filho Olivier adotou, durante alguns meses, um comportamento digno de um personagem de Lewis Carroll. Sua professora acabava de lhe ensinar a escrever seu prenome. Ele assinava,

pois, seus desenhos com bastante orgulho. Ora, em torno de uma sobre duas vezes, ele cometia, sem se aperceber, uma enorme asneira: ele escrevia seu prenome da direita para a esquerda, sem se enganar na ordem das letras, mas invertendo-as. O resultado era a imagem em espelho do que ele havia escrito: ЯƎIVIJO. Apesar de meu orgulho de ter produzido um menino capaz, desde a mais tenra idade, de imitar Leonardo da Vinci, eu os advirto de que uma ponta de ansiedade me invadiu. Deveria ver, nesse comportamento bizarro, o primeiro indício de uma dislexia nascente?

A consulta à literatura científica me tranquilizou, mas ela aumentou de modo igual minha surpresa. Está constatado que todas as crianças do mundo fazem os mesmos erros. Todas passam pelas mesmas dificuldades em discriminar as letras ou as palavras de sua imagem em espelho. Além disso, não é raro que as escrevam espontaneamente invertidas (Figura 7.1)[1]. Trata-se aí de um comportamento estritamente normal, que se manifesta em todas as culturas, inclusas as da China e do Japão. Ele é observado na idade em que a criança produz seus primeiros escritos. Só o prolongamento desse fenômeno além dos 8 ou 10 anos dá razões para inquietar-se. Nesta idade, com efeito, os erros de inversão em espelho são claramente mais frequentes nas crianças disléxicas, mesmo se eles tendem de modo igual a desaparecer em seguida[2].

No meu filho, com efeito, a escrita em espelho não durou senão um tempo muito breve e ele aprendeu, em seguida, a ler e a escrever com bastante normalidade. Contudo, a existência de tal "estágio do espelho" na aprendizagem da escrita levanta questões fascinantes. De onde provém esta misteriosa competência? Ensaie escrever seu prenome em espelho – você não o conseguirá sem grandes dificuldades.

Por que, pois, uma criança pequena que mal sabe segurar o lápis exibe, sem o menor treinamento, uma habilidade superior à do adulto? Nesta idade, a criança já é capaz de captar as anomalias de um desenho ou as letras que faltam no traçado de seu prenome. Por que, pois, aceita, sem pestanejar, que seu prenome se escreva invertido?

Esse curioso coquetel de talento (saber escrever invertido) e de cegueira (não se dar conta de seu erro) ocasiona todo o sabor do enigma que tentaremos resolver. Pretendo, com efeito, que a escrita em espelho aporta, por sua própria singularidade, um indício sólido em favor da hipótese da reciclagem neuronal. Como notaram Charles Darwin ou Steven Jay Gould, é nas imperfeições e nas anomalias da natureza que as provas mais seguras da evolução residem. A perfeição do olho e o

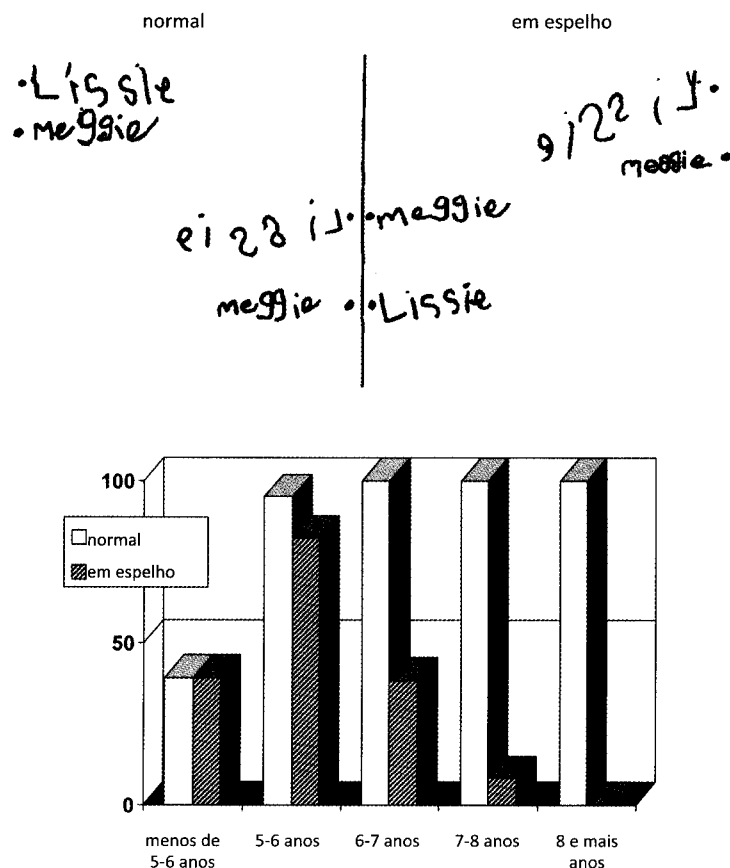



Figura 7.1 A maior parte das crianças passa por um "estágio do espelho" na aprendizagem da escrita, no curso do qual confundem as letras e as palavras com sua imagem em espelho. Sobre uma folha marcada por uma barra central, James Cornell pediu a duas irmãs que escrevessem seus prenomes, começando nos lugares assinalados por um ponto. Lissie (5 anos) executou o comando, escrevendo espontaneamente em espelho, quando faltou espaço para escrever da esquerda para a direita. Meggie (6 anos), ao contrário, sempre escreveu seu prenome na direção habitual (cf. Walsh e Butler, 1996). O gráfico de base indica a porcentagem de crianças de cada grupo de idade capazes de escrever seu prenome em escrita normal e em espelho. Constata-se que quase todas as crianças, por volta dos 5-6 anos, passam por uma etapa transitória quando a direção da escrita lhes é indiferente (dados de Cornell, 1985).

perfil da asa poderiam, talvez, ser explicadas pelo gênio da vontade divina – mas que divindade maliciosa sonharia em colocar um dos olhos dos peixes chatos no lado errado do corpo, aquele em que o animal deita no solo, para em seguida o fazer migrar na direção contrária, no curso de seu desenvolvimento? Qual arquiteto divino teria a ideia tão tortuosa

de fazer descer o nervo auditivo da girafa desde a orelha até a base do pescoço antes de reenviá-lo até o cérebro, fazendo-o percorrer vários metros inúteis? Se a natureza não fosse constituída senão de organismos perfeitos, eu talvez compreendesse que atribuíssemos alguma credibilidade à hipótese de um "desenho inteligente". Mas o estudo dos seres vivos revela tantos erros crassos, que saltaria aos olhos do primeiro engenheiro observador, que a tese de Darwin saia consideravelmente reforçada: só os azares da história evolutiva podem explicá-los.

Acontece o mesmo na psicologia. Que um comportamento humano seja bem adaptado se explica, pelo menos, de duas formas. Pode ser que emane de nosso patrimônio genético, de nossa evolução; mas pode, igualmente, acontecer que ele tenha ocorrido em virtude da aprendizagem. Quando um comportamento é perfeitamente ajustado, como ocorre com a leitura num adulto competente, é bem difícil discernir o lado inato do adquirido. Eis a razão por que os desvios da perfeição são, com frequência, mais interessantes. Quando uma criança comete um erro sistemático, ou, ao contrário, quando apresenta uma competência excessiva que ultrapassa o campo do que lhe ensinamos, pode-se supor que tenha feito apelo a mecanismos antigos herdados de nossa história evolutiva.

Pretendo que a escrita em espelho constitua tal anomalia reveladora. Se a criança lê ou escreve espontaneamente em espelho, é porque seu sistema visual, antes mesmo de começar a ler, obedece a uma forte limitação estrutural, extremamente antiga na evolução que a força a *simetrizar* os objetos que vê. Esta limitação de simetria era útil no curso de nossa evolução. Ela permanece profundamente enterrada na estrutura mesma de nosso sistema visual e influencia fortemente o desenvolvimento normal e patológico da leitura.

No curso dos capítulos precedentes, verificamos que a arquitetura de nosso sistema visual é favorável à leitura, em geral. Ela nos permite aprender a reconhecer as formas novas das letras e das palavras independentemente de seu tamanho e de sua forma exatos. A simetria, ao contrário, é uma propriedade que obstaculiza a leitura. Ela torna a aprendizagem difícil e nos faz cometer confusões sistemáticas entre as letras "p" e "q", ou entre "b" e "d". Por esse viés, ela sublinha uma vez ainda que o cérebro não está verdadeiramente preparado para a leitura e que a ela se converte tanto bem quanto mal.

QUANDO OS ANIMAIS CONFUNDEM DIREITA COM A ESQUERDA

O estudo sistemático da confusão entre esquerda e direita data de Pavlov. Nos anos 1920, o laboratório de Pavlov se interessa pelas limitações do condicionamento animal: um cão pode aprender a salivar quando lhe damos um índice A, mas não quando lhe apresentamos outro índice B?

Em geral, a resposta é afirmativa. Contudo, a equipe de Pavlov obtém resultados curiosos quando tenta inculcar nos cães a diferença entre direita e esquerda. Os cães, uma vez condicionados a salivar quando lhes tocavam a parte direita do corpo, não podiam se impedir de fazê-lo igualmente quando os tocavam no lado esquerdo. Pareciam incapazes de aprender uma discriminação em espelho. Só o seccionar cirúrgico do corpo caloso, essas conexões que ligam os dois hemisférios cerebrais, restabelecia a faculdade de discriminar esses estímulos simétricos. Assim, o fracasso inicial dos animais não era devido a um problema de má percepção. Tratava-se, segundo Pavlov, da generalização ativa da aprendizagem que se propagava de um hemisfério ao outro por intermédio das conexões do corpo caloso.

Desde esta primeira experiência, numerosas espécies animais demonstraram a ubiquidade das confusões em espelho[3]. Por exemplo, treinemos um pombo a bicar com um toque, em linha diagonal, depois examinemos como ele generaliza esta aprendizagem para linhas com orientação aleatória. Observaremos dois picos de respostas: o animal responde às orientações próximas daquela que aprendeu, mas igualmente às que lhe são simétricas. Apesar de jamais ter visto a orientação simétrica no curso da aprendizagem, ele se comporta como se esta imagem fosse idêntica àquela que ele aprendeu. De novo, esta competência será abolida, se interrompermos as conexões inter-hemisféricas[4].

A CONFUSÃO ESQUERDA-DIREITA NA ESPÉCIE HUMANA

A psicologia humana mostra que, nesse domínio, nós não diferimos dos pombos e cães. Quando aprendemos a reconhecer uma imagem, sabemos de imediato reconhecer a forma simétrica em espelho. Assim, Michael Tarr e Steven Pinker ensinaram estudantes a nomear formas novas que se assemelhavam a árvores providas de múltiplos galhos[5]. Depois deste período de aprendizagem, apresentavam-lhes formas novas,

mais ou menos próximas das imagens aprendidas que podiam diferir notadamente por uma simetria. O tempo empregado para nomear as imagens em espelho foi idêntico àquele empregado para nomear as primeiras imagens, as quais, contudo, haviam sido vistas com uma frequência cem vezes maior. Assim, a operação de simetria esquerda-direita parece não acarretar nenhum custo para nosso sistema nervoso: o que aprendemos, com uma orientação, generalizamos também em espelho.

Refinemos nossa introspecção com um teste de memória. Você sabe para qual lado olha D. Pedro I nas moedas de dez centavos? Na moeda americana *quarter* americano, George Washington mostra seu perfil direito ou esquerdo? Em que direção a Gioconda vira as espáduas e qual mão pousa sobre a outra? O Pensador de Rodin põe seu cotovelo direito sobre seu joelho esquerdo, ou o inverso? Tente responder antes de ver as respostas na Figura 7.2 – suas certezas correm o risco de terem se saído mal.

Figura 7.2 Nossa memória visual não é sensível à orientação. Todas as imagens lhes parecem familiares? Contudo, é a primeira vez que seu sistema visual as percebe. Com efeito, elas estão todas invertidas em espelho.

Irving Biedermann e seus colegas da Universidade da Califórnia confirmaram através de experiências rigorosas as confusões em espelho da memória humana. Suas experiências exploraram um efeito de aprendizagem rápida: nomeamos mais rapidamente imagens que já vimos anteriormente do que aquelas que vemos pela primeira vez. Esta facilitação perceptiva sugere a existência de um traço de memória que pode persistir durante horas, senão vários dias. Contudo, esta memória de longo prazo não conserva uma fotografia mental da imagem exata que foi vista pela primeira vez. Com efeito, depois de nomeada uma imagem, a facilitação é a mesma quando a segunda imagem for exatamente idêntica, deslocada espacialmente ou apresentada em espelho[6]. Assim, a lembrança que conservamos de uma cena é suficientemente abstrata para resistir a uma translação ou a uma simetria. Na periferia do campo visual, a invariância por translação poderia mesmo ser mais custosa que a simetria[7].

Em resumo, quando uma imagem se torna familiar para nós, nossa memória visual parece registrá-la sem precisar sua orientação no espaço, de sorte que, quando nós a revirmos, somos incapazes de afirmar se se trata da mesma ou de sua imagem em espelho. Você pensará, talvez, que se trata de um fenômeno trivial. Depois de tudo, há numerosas imagens que não somos capazes de distinguir, então, por que deveríamos ficar surpresos ao não saber diferenciar duas imagens em espelho? Na realidade, a generalização em espelho não tem nada a ver com uma limitação perceptiva. Sobre nossa retina, duas imagens em espelho – por exemplo, o perfil esquerdo e direito da Gioconda – se projetam sob formas totalmente diferentes. Nosso sistema visual é capaz de discriminações bem mais finas, tais como a distinção de dois rostos diferentes vistos sob o mesmo ângulo. Confundir as imagens em espelho, não é, pois, falha em percebê-las. A falha incumbe mais ao fato de que nosso sistema visual "categoriza", isto é, decide reagrupar imagens muito diferentes num só e mesmo objeto. Esta categorização é uma operação complexa, que resulta de mecanismos elaborados – não se trata de um simples erro de percepção.

EVOLUÇÃO E SIMETRIA

Por que nosso sistema nervoso é tão pouco sensível à inversão da esquerda e da direita? Sem dúvida porque evoluímos num ambiente onde esta distinção não era quase útil[8]. Embora nosso sistema seja tridimensional, só dois eixos coordenados parecem exercer uma influência real sobre a evolução das espécies. O primeiro eixo, que se aplica a todos, é o vertical, definido pela força da gravidade. O segundo, que não se aplica senão às espécies que se deslocam, é o eixo ântero-posterior. Este define uma extremidade privilegiada do corpo onde se situam os órgãos dos sentidos e da nutrição. Juntos, esses dois eixos determinam o plano de organização do corpo, mas também a maneira pela qual percebemos o espaço. Discriminar a vertical da horizontal, o que está longe do que está perto, ou ainda a face de um animal de sua parte traseira são operações essenciais à sobrevivência. Uma forte pressão foi, então, exercida, ao longo de milhões de anos, para que esses limites geométricos fossem internalizados no cérebro. É assim que nosso sistema nervoso, como o de todos os primatas, dispõe de mecanismos evoluídos que detectam as distâncias, distinguem os perigos vindos do céu (uma águia) dos próximos do solo (uma serpente) e discriminam os rostos e suas emoções.

A terceira direção do espaço, a que diferencia a esquerda da direita, não recebe tantas considerações. Com efeito, uma inversão, de acordo com este eixo, não tem muitas consequências para nossa sobrevivência, porque ela deixa o mundo praticamente imutável. Assim, é-nos impossível detectar, quando examinamos uma fotografia de cena natural, se a esquerda e a direita foram invertidas: temos simplesmente a impressão de examinar a cena sob um ponto de vista diferente. O eixo esquerda-direita possui assim um estatuto à parte, menos essencial à sobrevivência do que outros eixos coordenados. Afinal, um tigre é tão ameaçador quando ele se apresenta com o perfil direito quanto com seu perfil esquerdo... e um tigre deitado de costas representa uma ameaça bem menor do que um tigre cujas patas tocam o solo[9]!

Não somente não existe pressão evolutiva forte para distinguir a esquerda da direita, mas a pressão se exerce verossimilmente no sentido oposto. É-nos útil confundir as imagens em espelho a fim de generalizar automaticamente nossos conhecimentos na cena inversa. Suponhamos que um de nossos ancestrais tivesse sobrevivido de um encontro com um tigre que viesse pela direita. Não seria mais vantajoso, para sua sobrevivência futura, reconhecê-lo ao primeiro golpe de vista se ele surgisse à esquerda? É, pois, muito provável que, no decorrer das gerações, a evolução tenha favorecido os indivíduos cujo sistema visual fosse capaz de generalizar em espelho.

Generalizando em espelho, nosso sistema nervoso assume o risco de confundir os objetos que, como os calçados, são quase idênticos sime-

tricamente. Mas o risco é fraco. No mundo natural, a maior parte dos animais e das plantas possui um plano de simetria ou de quase-simetria, ao menos superficialmente. Os órgãos não são sempre simétricos, mas o aspecto exterior do corpo o é, com frequência (a lagosta com sua pinça mais grossa, num lado, é um dos raros exemplos). A evolução parece apostar que se ganha ao negligenciar essas pequenas assimetrias se isto nos permite reagir mais rápido em situações importantes que são com frequência as mais indiferentes à inversão entre a esquerda e a direita.

PERCEPÇÃO DA SIMETRIA E SIMETRIA DO CÉREBRO

Por qual mecanismo a percepção em espelho se realiza no sistema visual? Há cerca de 80 anos, uma hipótese especulativa suscita interesse e polêmica entre os psicólogos. É a teoria de Orton, segundo a qual, a simetria anatômica dos dois hemisférios seria diretamente responsável pela confusão direita-esquerda[10]. Nos anos de 1920, o doutor Samuel Orton estudou os distúrbios da leitura e tentou colocá-los em relação com a anatomia do cérebro. A teoria elaborada representa uma das primeiras tentativas de explicar os erros das crianças disléxicas. Sob tal consideração, ela apresenta um interesse histórico particular. Por certo, à luz dos conhecimentos modernos sobre a anatomia cerebral, pode-se julgar um pouco *naïve* sua hipótese de uma relação direta entre a simetria do cérebro e a percepção da simetria. Contudo, veremos que seu modelo, uma vez modernizado, conduz então a predições interessantes e muitas vezes corretas.

O que propunha Samuel Orton? Constatando que o hemisfério esquerdo é o simétrico quase perfeito do hemisfério direito, ele emite o curioso postulado de que os dois hemisférios codificariam informações visuais conforme as captações espaciais inversas. Lá onde o hemisfério esquerdo visse um "b", o hemisfério direito veria a imagem simétrica, isto é, um "d" (Figura 7.3). Orton quase não explicava o mecanismo neural desta hipotética inversão. Ela lhe aparecia como uma consequência evidente da simetria anatômica dos dois hemisférios. Conforme Orton, cada região visual do hemisfério direito vê a mesma imagem que o hemisfério esquerdo, mas no sentido inverso, como se o mapa visual tivesse virado, como uma luva. Assim, Orton postulava que "o grupo de células excitadas por um dado estímulo visual no hemisfério direito é a imagem exata em espelho daquele presente no hemisfério esquerdo".

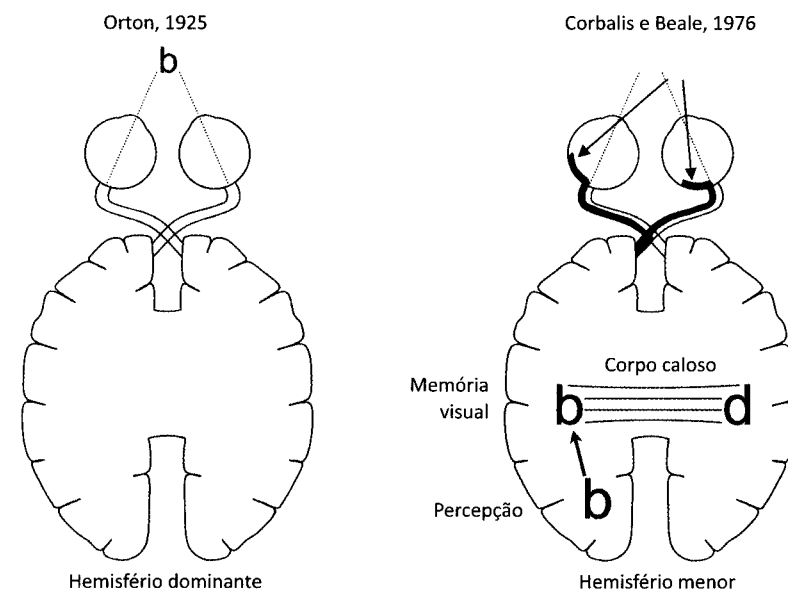



Figura 7.3 Duas teorias neurológicas tentaram explicar as confusões das imagens em espelho. Conforme Orton (1925), a simetria do cérebro implica que cada imagem seja codificada duas vezes. Ela está representada na boa direção no hemisfério dominante e na direção inversa no outro hemisfério. Os erros em espelho sobrevêm quando uma pessoa não consegue inibir o código do hemisfério menor. Conforme o modelo de Corballis e Beale (1976), mais em conformidade com os conhecimentos modernos sobre o sistema visual, a apresentação de uma letra não ativa inicialmente senão as áreas visuais do hemisfério oposto (aqui, o hemisfério esquerdo). Contudo, um mecanismo ativo de "simetrização" transfere os objetos de memória entre os hemisférios por intermédio do corpo caloso. No curso desta transferência, a geometria do corpo caloso, que conecta pontos simétricos do cérebro, impõe às imagens uma inversão esquerda-direita.

Seguindo a lógica, Samuel Orton desenvolveu a seguir as consequências de seu postulado inicial. Se duas imagens mentais coexistem em nosso cérebro, uma representando um objeto real e outra seu simétrico, é lógico que confundamos, muitas vezes, nossa direita com nossa esquerda. Mas como conseguimos determinar a orientação real do mundo que nos cerca? Conforme a teoria de Orton, a única solução seria a de não utilizar senão um hemisfério e fazer silenciar o outro. Sabe-se, desde Broca, que, para nomear as letras e as palavras, uma pessoa normal utiliza principalmente o hemisfério esquerdo, sede das redes da linguagem. Conforme Orton, quando lemos as palavras, esse viés em favor da esquerda nos ajuda a negligenciar as informações visuais provenientes do hemisfério direito. Aprendendo a não utilizar senão o hemisfério esquerdo, conseguimos progressivamente discriminar um "b" de um "d".

Conforme Corballis e Beale, as confusões em espelho não são, pois, na verdade, erros de percepção, mas resultam mais de uma generalização excessiva. Nosso sistema visual, no curso da evolução, teria incorporado o fato de que as imagens em espelho são o mais das vezes vistas como um só e mesmo objeto.

Último elemento da teoria de Orton: certas pessoas seriam afetadas por uma má lateralidade hemisférica. Assim, elas não conseguiriam prestar atenção às entradas visuais de um só hemisfério. Utilizando aleatoriamente um hemisfério ou outro, elas misturariam a direita com a esquerda e não poderiam distinguir duas imagens em espelho. Esse *handicap* constituiria, para Orton, uma patologia particular que ele chamava de "strefosimbologia" (troca de símbolos).

Como esta teoria, concebida nos anos de 1920, resistiu a 80 anos de progresso das neurociências? O modelo do cérebro e da visão que propunha Orton parece hoje bem simplista. Orton tinha razão num ponto: os mapas visuais que ocupam as regiões occipitais do hemisfério esquerdo e direito estão, com efeito, organizados em espelho, um do outro. Contudo, na região visual primária, ao contrário do que imaginava Orton, não existe duplicação das imagens percebidas nos dois hemisférios. A realidade é bem mais simples: a metade esquerda do campo visual se projeta no hemisfério direito e a metade direita se projeta no hemisfério esquerdo. Assim, quando nós vemos um "p", na parte direita do campo visual, a área visual primária do hemisfério esquerdo codifica esse "p", mas sua homóloga no hemisfério direito não codifica... nada, pois ela não recebe informações visuais desta porção de espaço.

Se progredirmos mais adiante na hierarquia das áreas visuais, o problema de Orton começa a se colocar: as áreas visuais secundárias e terciárias, mais afastadas da retina, respondem a regiões mais vastas do campo visual. É, pois, verdade que um objeto visual, mesmo único, ative populações de neurônios distribuídos nos dois hemisférios. Contudo, nesse nível, a codificação das informações visuais se torna cada vez mais abstrata, cada vez menos fiel à topografia da retina. Os dois grupos de neurônios que, nos hemisférios direito e esquerdo, codificam a letra "p" não são mais verdadeiramente organizados em mapas isomorfos e não são "exatamente simétricos" um do outro.

Outra pedra no caminho de Orton: mesmo se os microcircuitos neuronais dos dois hemisférios fossem simétricos, porque esta simetria do código neural deveria necessariamente traduzir-se em erros de percepção em espelho? Sobre esse ponto, a hipótese de Orton lembra a in-

genuidade daqueles que, ao descobrirem que o cristalino inverte as imagens da retina, esperam que o cérebro comece a "recolocá-las direito". Ela evoca, de modo igual, a teoria do homúnculo, esse homem pequeno bonzinho que se imagina comandando o cérebro, perscrutando as áreas visuais como se fossem telas do computador e que se deixaria induzir em erro quando uma dessas telas exibisse imagens invertidas. É necessário, bem entendido, renunciar a esta imagem sedutora, mas simplista ao extremo, da visão. Não existe observador inteligente escondido em nosso cérebro. Nosso sistema visual não tem necessidade de exibir seus resultados para que um observador os possa ler – ele se contenta com extrair a informação sob formatos mais abstratos que permitem compreendê-la, estocá-la e explorá-la para guiar nossas ações.

Assim, e ao contrário do que pensava Orton, importa pouco que a letra "p" seja codificada por um grupo de neurônios num hemisfério e por seu simétrico no outro: esses dois grupos fornecem um código igualmente apropriado para a letra "p". Pretender que um desses grupos esteja "na boa direção" e represente a imagem verídica, enquanto o outro a representa em espelho é um erro fundamental – um pouco como se afirmássemos que a palavra "vermelho" deva ser codificada por neurônios de cor vermelha, ou o movimento dos objetos por neurônios que se deslocam!

Além disso, a visão da lateralidade hemisférica proposta por Orton é igualmente simplista – se o hemisfério esquerdo conhecesse sempre a boa orientação dos objetos, e o direito a má, deveríamos cometer erros em espelho em todos os tipos de tarefas que fazem apelo ao hemisfério direito, tais como a memória espacial ou a atenção.

Resumindo, a hipótese de Orton parece confundir o código com o que ele representa: o significante com o significado. À época de Orton, era, sem dúvida, difícil imaginar qual código neural, diferente da imagem, na superfície do córtex, poderia representar uma palavra escrita. Não foi senão recentemente, graças ao surgimento da informática e da teoria da informação, que a ideia de uma codificação abstrata se espalhou. Compreendemos hoje que, não importa qual seja o sistema, as marcas podem servir para representar a informação, desde que esse código seja desprovido de ambiguidade e que se disponha de um programa adequado de codificação e de decodificação. Não é, pois, necessário que o código neural seja isomorfo ao objeto que ele representa.

A despeito de todas essas críticas, a hipótese de Orton conserva uma parte de sedução. Refutar sua teoria não faz desaparecer, como por uma vara mágica, os fatos que lhe deram nascimento. Existem, por certo, pessoas

que confundem sua direita com sua esquerda e que, às vezes, leem e escrevem em espelho. Não é raro que essas crianças sejam sinistras, ou que elas sofram de distúrbios da linguagem, o que deixa suspeitar de uma má lateralidade dos hemisférios. Seria, pois, possível salvaguardar os elementos chave da teoria de Orton, evitando as armadilhas nas quais tombou?

OS ÊMULOS CONTEMPORÂNEOS DO DOUTOR ORTON

Nos anos de 1970, Michael Corballis e Ivan Beale, da Universidade de Auckland, propuseram uma releitura moderna da hipótese de Orton[11]. Segundo eles, e conforme os dados modernos das neurociências, as áreas visuais dos dois hemisférios analisam inicialmente suas entradas de modo independente (Figura 7.3). Contudo, a simetria anatômica das áreas visuais entra em jogo quando da transferência dessas informações de um hemisfério ao outro. Corballis e Beale formulam a hipótese de que cada vez que um hemisfério aprende uma informação visual nova, este traço de memória é imediatamente transmitido ao outro hemisfério. Tratar-se-ia ali de um mecanismo ativo que visa a manter a coerência dos dois hemisférios. Essa transferência passaria, por certo, pelo corpo caloso, esse vasto feixe de fibras que liga as áreas correspondentes dos dois hemisférios. Supondo que esse feixe liga, ponto a ponto, as áreas visuais simétricas dos dois hemisférios, então a transferência entre os hemisférios deveria inverter a direita e a esquerda. É assim que cada uma de nossas lembranças seria simetrizada. Não se trataria senão de uma consequência trivial da geometria das conexões que ligam os dois hemisférios.

Um dos interesses do modelo de Corballis e Beale é que ele não supõe que a percepção seja perturbada pela simetria. No curso das primeiras etapas do tratamento visual, percebemos de modo correto o mundo do exterior, na boa orientação e esta etapa de tratamento permite guiar de maneira eficaz a ação – podemos, por exemplo, traçar o contorno da letra "b", sem inverter os dois lados. Não é senão no segundo tempo que os conhecimentos que adquirimos sobre o objeto são generalizados em espelho. É por isto que, na nossa memória visual, não nos lembramos mais da orientação na qual vimos a Gioconda ou a face de D. Pedro I, na moeda de 10 centavos.

Tomemos um exemplo concreto. Durante seu primeiro curso de leitura, uma criança vê pela primeira vez a letra "b" e aprende que ela se pronuncia [be]. Suponhamos que esta primeira imagem seja encontrada na parte esquerda do campo visual. Ela é, pois, codificada inicialmente no hemisfério direito, onde as populações de neurônios se modificam a fim de estabelecer a conexão entre o grafema e seu fonema. Uma vez memorizada, contudo, esta informação é transferida ao outro hemisfério, onde a forma "b" se torna um "d". Esta segunda forma também se torna, pois, associada ao mesmo som [be]. Se, no dia seguinte, a criança vê a forma "d" em seu campo visual direito, ela afirmará com confiança que se trata de um [be]. Para sua grande surpresa, a professora lhe explica que não, essa letra se pronuncia [de]. Esse novo saber se instala... mas ele desestabiliza também, no outro hemisfério, o conhecimento adquirido no dia anterior sobre a letra "b". Para chegar a ler, conforme Corballis e Beale, a criança dever aprender a inibir a generalização por simetria: ser-lhe-á necessário cessar de ver as letras "b" e "d", como um e mesmo objeto, visto sob ângulos diferentes. Essa "desaprendizagem" constitui uma etapa difícil para a criança e pode acontecer que ela coloque problemas intransponíveis para certas crianças disléxicas.

Por que o modelo de Corballis e Beale não sofre as mesmas dificuldades lógicas que o de Orton? Porque ele não afirma que o código neural de um hemisfério está na boa direção, enquanto o outro está na inversa. Ele se contenta em sustentar que a transferência inter-hemisférica em espelho torna o código neural ambíguo. Depois da transferência, o grupo de neurônios ativados por um "b" apresentado ao campo visual esquerdo é idêntico àquele ativado por um "d" no campo visual direito. Assim, as áreas cerebrais ulteriores, que analisam esses sinais, não dispõem de nenhuma informação que permita diferenciar essas duas percepções: simplesmente, a informação sobre a orientação das letras não é codificada na memória.

Se ele reduz a informação disponível, por que tal mecanismo de aprendizagem simétrica teria sido selecionado pela evolução? Porque ele constitui uma maneira simples de generalizar e, portanto, de tirar vantagem das simetrias do mundo exterior. Um organismo dele dotado reconhecerá sem dificuldade um tigre, seja voltado para a direita ou para a esquerda.

No modelo de Corballis e Beale, a manutenção ativa da simetria do plano cerebral é o mecanismo elementar que permite esta generalização em espelho. Os pesquisadores supõem, com efeito, que os organismos que dele são dotados dispõem desde o nascimento de conexões visuais que ligam precisamente ponto a ponto as regiões simétricas dos dois hemisférios e que a aprendizagem mantém no curso do desenvolvimento ulterior. Notemos que não é tão difícil, com a ajuda de alguns genes e de gradientes espaciais, entender que as conexões do corpo calo-

so se posicionam, nas primeiras etapas do desenvolvimento do sistema nervoso, de modo a conectar ponto a ponto as regiões simétricas do cérebro – tudo como as asas da borboleta que abanam com uma simetria perfeita[12]. Antes mesmo de toda interação com seu ambiente, o cérebro incorporaria assim a simetria esquerda-direita como uma propriedade essencial do espaço. Seríamos programados para generalizar por simetria, o que constituiria uma vantagem para o reconhecimento da maior parte dos objetos. Para conservar esta vantagem, contudo, nosso cérebro deveria se esforçar por preservar sua simetria inicial, de onde a importância do mecanismo postulado por Corballis e Beale: cada vez que um episódio de aprendizagem vem modificar as conexões neuronais num hemisfério, a passagem pelo corpo caloso assegura a transferência desta aprendizagem ao outro lado, restabelecendo imediatamente a simetria.

OS LIMITES DE UM ORGANISMO SIMÉTRICO

Imaginemos que nós sejamos perfeitas "máquinas de Corballis" – organismos idealmente simétricos, nos quais a menor das conexões seja duplicada em espelho no outro hemisfério. Qual seria nosso comportamento? Poderíamos ainda nos deslocar no espaço, distinguir a direita da esquerda, nomear os objetos que nos cercam? Que tipos de erros cometeríamos? Poderíamos pô-los em relação com o comportamento das crianças pequenas ou dos adultos disléxicos?

Dissipemos, em primeiro lugar, um mal-entendido frequente. Mesmo se um organismo for perfeitamente simétrico, até nos mínimos detalhes de seu sistema nervoso, isto não implica, no entanto, que suas ações jamais diferenciem a direita da esquerda. De fato, tal organismo pode dar respostas espaciais orientadas a situações igualmente orientadas. Imaginemos, com efeito, um organismo simétrico que observe uma cena assimétrica, por exemplo, um tigre vindo pela direita. Suponhamos que ele seja programado de tal sorte que sua resposta imediata seja correr em direção à esquerda. Então, a simetria do organismo implica que, em resposta ao simétrico da imagem de partida (um tigre vindo, desta vez, pela esquerda), o organismo efetuará a ação simétrica (correr em direção à direita). Um observador concluiria que nosso organismo hipotético, embora perfeitamente simétrico, distinga convenientemente sua direita de sua esquerda.

É somente quando lhe pedirmos que dê uma resposta convencional, sem orientação espacial, que tal organismo dará necessariamente a mesma

resposta a duas cenas em espelho uma da outra. Por exemplo, um organismo simétrico pode dizer a palavra "tigre", desde que ele veja o perfil direito – mas a simetria de seu plano corporal o obrigará então a produzir a mesma resposta ao perfil esquerdo do tigre. Ou seja, ele saberá reconhecer e nomear um tigre, seja qual for sua orientação, mesmo nova.

Possuir um sistema nervoso simétrico e conservá-lo no curso da aprendizagem apresenta, pois, uma dupla vantagem:

- a simetria do plano cerebral permite reconstruir as propriedades dos objetos de modo invariante, independentemente de sua orientação esquerda-direita;
- mas ela não impede, no entanto, codificar sua orientação no espaço, e nem responder com ações espaciais adaptadas, aí compreendidas as ações assimétricas.

Existem somente dois tipos de operações que não podem tornar um organismo perfeitamente simétrico.

- A primeira é a de emitir uma resposta arbitrária a um objeto assimétrico sem atingir sua imagem em espelho. Para uma criança, isto consistirá, por exemplo, em nomear [be] a forma "b", mas não a forma "d"; ou em dizer "esquerda" se ela vir uma mão esquerda, mas não quando vir uma mão direita. Ou ainda, para um pombo, isto poderia ser bicar quando ele vir uma barra inclinada para a direita (/), mas não se ele vir a mesma barra inclinada para a esquerda (\). Um organismo perfeitamente simétrico não pode realizar nenhuma dessas tarefas, mesmo que elas nos pareçam muito simples.
- A segunda operação inacessível a um organismo simétrico é a de efetuar uma ação espacial assimétrica em resposta a uma ordem arbitrária que não esteja organizada no espaço. Por exemplo, seria impossível a tal organismo levantar só o braço direito se ele ouvisse a palavra "direito". As conexões que ligarem as áreas auditivas aos comandos motrizes do braço direito deveriam, por simetria, igualmente acarretar um movimento simétrico do braço esquerdo. Esperar-se-ia, pois, que tal organismo efetuasse movimentos simétricos – ou, se um pouco de azar se insinuasse em seu comportamento, que ele levantasse às vezes a mão direita e, às vezes, a esquerda, em resposta a um comando verbal.

É fascinante constatar a que ponto essas limitações teóricas dos organismos simétricos coincidem com as dificuldades experimentadas

pelos animais e pelas crianças pequenas. Nenhuma criança apresenta dificuldade em nomear um objeto que ela conhece, mesmo se o vir pela primeira vez sob nova orientação. Nenhuma criança normal movimenta seu braço esquerdo quando segura uma bola na mão direita! Mas, ao contrário, todas as crianças experimentam inicialmente dificuldades em distinguir as letras "b" e "d", ou em identificar sua mão direita.

A despeito de seu aspecto improvável, o conceito de um cérebro simétrico que mantém ativamente sua simetria no curso da aprendizagem merece nossa atenção, porque ele parece dar conta de certas limitações de nosso aparelho cerebral. Existe a menor prova de que a transferência de informação entre os dois hemisférios invirta as formas em espelho, como postula a teoria de Corballis e Beale? Toda a discussão que precedeu poderia parecer ingenuamente geométrica e sem relação com a biologia se não houvesse alguns dados experimentais surpreendentes que, de acordo com a teoria, tecem os laços entre a orientação da simetria e a simetria do cérebro.

OS NEURÔNIOS DA SIMETRIA

Quais são, pois, as bases neurais da percepção da simetria? Embora a neuropsicologia se interesse por esta questão há pouco tempo, várias experiências mostram que a simetria em espelho faz parte das invariâncias que são extraídas pelos neurônios da região temporal inferior – a mesma que, no homem, se recicla parcialmente para a leitura.

Lembrem-se de que esses neurônios respondem a certos objetos visuais e são insensíveis às translações e às mudanças de tamanho. Um dado neurônio que prefira, por exemplo, o rosto de Jennifer Aniston a qualquer outro rosto, conservará esta preferência independentemente do tamanho e da posição do rosto na retina. Recentemente, os neurofisiologistas descobriram que certos neurônios são igualmente invariantes para a simetria em espelho[13]: seu perfil de preferência, ao longo de toda uma série de objetos, permanece o mesmo quando as imagens passam por uma inversão esquerda-direita.

Além disso, esses neurônios resistem melhor à simetria horizontal que à simetria vertical. Com efeito, quando se mede sua resposta à mesma forma apresentada sob diversas orientações, observa-se que os neurônios têm, com frequência, preferência por uma orientação vertical, mas muito mais raramente preferência conforme o eixo esquerda-direita. Se um neurônio responde a uma dada forma, digamos "p", ele descarregará seguidamente com o mesmo perfil a resposta à forma "q", isto é, seu simétrico, conforme o eixo esquerda-direita. Ao contrário, esse mesmo neurônio não responderá necessariamente com a mesma força às formas simétricas conforme o eixo vertical. Dito de outra forma, tal neurônio distingue um "p" de um "b", mas não um "p" de um "q".

Coletivamente, os neurônios do córtex temporal inferior realizam operações de invariância perceptiva. São eles que permitem reconhecer os objetos, seja qual for seu tamanho e sua orientação. Esses novos dados eletrofisiológicos indicam, pois, que a diferença entre esquerda e direita faz parte das diferenças que o córtex temporal negligencia.

Conforme a teoria de Corballis e Beale, esta invariância por simetria não deve ser aprendida: ela faz parte das invariâncias estruturais que a geometria de nossas conexões inter-hemisféricas nos permite que a reconheçamos espontaneamente. Os trabalhos do neurofisiologista Nikos Logothetis[14] apoiam esta hipótese (Figura 7.4). Logothetis treinou macacos a reconhecerem objetos tridimensionais inusitados, um tipo de trombones de arame, formados por múltiplos segmentos, empilhados à direita, em ângulos aleatórios. Logothetis queria saber se, uma vez que os macacos tivessem aprendido a reconhecer suas formas numa dada orientação, eles seriam capazes de reconhecê-las, não importa qual fosse a orientação. Eis porque, no curso da aprendizagem, os macacos não viam os objetos senão sob um ângulo quase que fixo. Os objetos não viravam senão alguns graus, a fim de criar uma ilusão de profundidade. Este treinamento mínimo seria suficiente para um reconhecimento ulterior do objeto sob todos seus ângulos? Para sabê-lo, Logothetis apresentou em seguida ao animal todas as visões possíveis do objeto, misturadas com imagens de outros objetos.

Os resultados mostram que, quando a orientação nova se distancia em torno de 40 graus daquela aprendida, o macaco não consegue reconhecer o objeto aprendido. Contudo, quando lhe alcançavam uma rotação de 180 graus, a taxa de reconhecimento aumentava brutalmente. O mesmo para os neurônios do córtex temporal inferior: a maior parte dos neurônios que descarregavam maximamente quando o objeto estava na orientação aprendida, cessavam progressivamente de responder quando o objeto virava 40 ou 50°, mas alguns retornavam às taxas de descarga vigorosa quando a rotação atingia 180° (Figura 7.4). Ora, 180° são, é claro, meia-volta, e para objetos feitos de arame, isto corresponde quase exatamente à simetria da imagem do início (se você fabricar uma letra "b" em arame, você pode transformá-la num "d", virando-a 180° em torno de uma vertical).

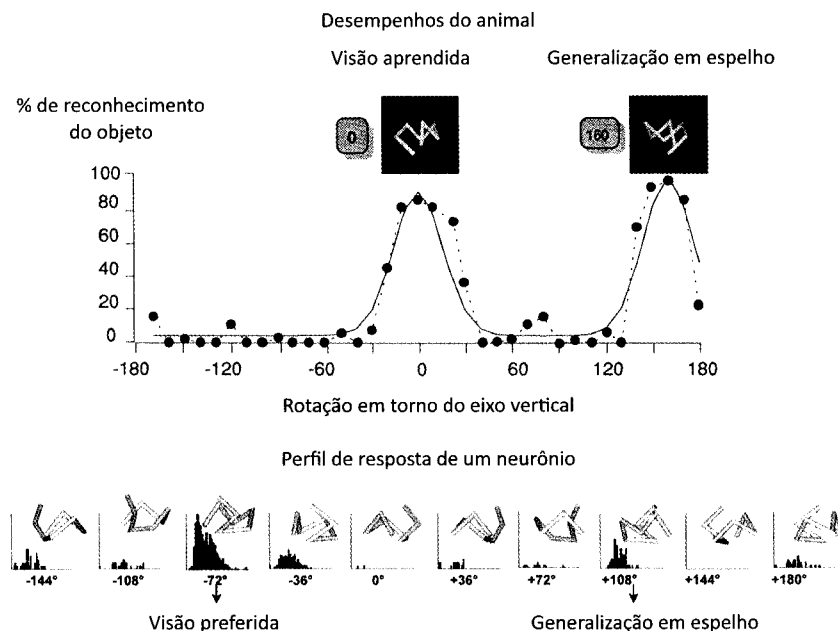



Figura 7.4 Depois de uma aprendizagem, o sistema visual dos primatas generaliza em espelho. Nesta experiência, o animal aprendeu a reconhecer um objeto de arame sob um ângulo particular. Ele é testado a seguir o mesmo objeto sob diferentes ângulos (gráfico ao alto). O macaco não reconhece o objeto a não ser quando o vê sob o mesmo ângulo do início ou sob um ângulo em torno de 180°, que corresponde a uma simetria em espelho. Embaixo, um neurônio que aprendeu a responder a uma visão particular de um objeto responde igualmente à mesma volta de 180° (cf. Logothetis, 1995).

Assim, sem nenhuma aprendizagem suplementar, os neurônios do córtex temporal inferior conseguem reconhecer o simétrico de uma forma comum. Esta conclusão é corroborada pelo estudo dos neurônios que, na mesma região do córtex, respondem seletivamente à vista de uma face. Numerosos são os neurônios que respondem a visões simétricas de uma mesma face, por exemplo, os perfis direito e esquerdo[15]. Além disto, esta invariância em espelho está já presente nos neurônios do macaco recém-nascido[16]. No homem, os bebês de 4 meses também reconhecem uma imagem com a qual estão familiarizados, quando a apresentamos numa segunda vez em espelho[17]. A simetria em espelho parece se aplicar, desde a idade mais tenra, a todos os objetos que somos susceptíveis de reconhecer.

As pesquisas de Logothetis revelam um interessante contraste entre a rotação e a simetria. A invariância por rotação não faz parte das competências iniciais de nosso sistema visual. Devemos aprender ao que se asseme-

lham as diferentes visões de um objeto em rotação. Nosso sistema visual não parece conhecer as formas em três dimensões: ele não faz senão interpolar entre as visões que aprendemos a reconhecer. É tanto mais fascinante porque a simetria escapa a esta regra e faz parte das operações mais elementares de nosso aparelho perceptivo. Experiências de imagem cerebral demonstraram recentemente, tanto no macaco quanto no homem, uma notável sensibilidade à simetria: no meio de uma nuvem aleatória de pontos, a presença de pontos distribuídos de modo simétrico aumenta a resposta das regiões laterais do córtex occípito-temporal e a faculdade de detectá-los está diretamente ligada a este aumento de atividade neural[18]. Embora este estímulo aleatório jamais tenha sido visto, ele entra em ressonância com os circuitos visuais prontos a despertar à menor indicação de simetria.

SIMETRIA DAS CONEXÕES

Infelizmente, nenhuma experiência de fisiologia explorou ainda qual geometria das conexões corticais sustém a percepção da simetria no córtex temporal inferior. O corpo caloso, com suas conexões simétricas que ligam os dois hemisférios, detém as chaves da percepção da simetria, como postulam Corballis e Beale? Somos atualmente reduzidos a especular sobre a base de dados fragmentários, embora sugestivos. Já citei as primeiras experiências de Pavlov com o cão e as de Beale com o pombo. Esses animais experimentam grandes dificuldades em distinguir pares de estímulos simétricos. Um pombo, por exemplo, aprende facilmente a diferença entre uma barra horizontal e uma vertical (— e |), mas experimenta dificuldades quando as mesmas barras são apresentadas em diagonal, de sorte que elas se tornem simétricas uma com a outra (/ e \). Tanto Pavlov quanto Beale notaram que depois da secção do corpo caloso, esta diferença desaparece, o que sugere que as conexões calosas jogam um papel na direção da simetria.

Mas qual papel exatamente? Outros dados confirmam que a transferência das informações de um hemisfério a outro, por intermédio do corpo caloso, pode dar a volta no espaço, como uma luva, ao inverter a direita pela esquerda. Nos anos de 1960, Nancy Mello, da Universidade de Harvard, publicou uma série de artigos sobre a aprendizagem visual da direção da simetria no pombo[19]. Esta espécie apresenta uma característica anatômica bem útil: contrariamente à organização que prevalece nos ma-

míferos, o olho direito do pombo projeta unicamente em direção às áreas visuais do hemisfério esquerdo, e o olho esquerdo em direção ao hemisfério direito. Assim, quando se mascara um dos olhos do pombo, podem-se projetar informações visuais em direção a um só hemisfério por vez.

Nancy Mello treinou, então, pombos a discriminar num só olho, duas imagens visuais, por exemplo, ∧ e ∨, ou então < e >. Os pombos eram reforçados com alimento se bicassem uma das formas, mas não a outra. Uma vez estabelecida esta discriminação, Nancy Mello examinava sua generalização no outro olho. Surpresa! Enquanto os pombos não cometiam nenhum erro quando as imagens diferiam por uma simetria vertical (∧ e ∨), eles fracassavam sistematicamente nas imagens que diferiam por uma simetria esquerda-direita. Um pombo treinado a responder à forma <, vista pelo olho direito, se punha a responder à forma >, quando a apresentassem no olho esquerdo. Ele havia, pois, transferido bem a aprendizagem, mas essa transferência era acompanhada de uma inversão esquerda-direita, conforme a teoria de Corballis e Beale.

Um ano mais tarde, foi publicado um trabalho comparável numa espécie mais próxima da nossa, o macaco. Depois de uma secção do quiasma óptico, forçando assim cada olho à projeção direcionada a um só hemisfério, John Noble, do *University College* de Londres, treinou seus animais a discriminar dois objetos simétricos com a ajuda de um só olho e depois testou a generalização ao outro olho. Ele também observou uma generalização paradoxal em favor da imagem em espelho. Depois de um curto período de resposta ao azar, os animais se puseram a responder pior que ao azar: como os pombos, eles escolhiam sistematicamente a forma errada, simétrica àquela que inicialmente os havia ensinado a preferir.

Em experiências ulteriores, John Noble mostrou que a transferência de um olho ao outro poderia passar seja pelo corpo caloso, seja por outro feixe de fibras, a comissura anterior: a secção dos dois feixes abolia a transferência em espelho, enquanto persistia desde que um desses dois feixes estivesse intacto. Enfim, Noble operou uma secção do corpo caloso depois da aprendizagem, mas antes do teste. Nos animais, a transferência paradoxal em espelho tinha sempre lugar, o que mostrava que ela emergia no curso da aprendizagem e não durante o teste.

Noble concluiu, pois, que, no macaco, cada episódio de aprendizagem num hemisfério vem acompanhado de uma aprendizagem em espelho no outro hemisfério. Ele notou ademais que esse mecanismo podia explicar as dificuldades particulares que experimentam os animais, mas também os seres humanos, em discriminar objetos que não se distinguem

senão pela simetria esquerda-direita. Em visão binocular, o mecanismo de aprendizagem simétrica que passa pelo corpo caloso assegura que cada hemisfério receba uma entrada visual direta, verídica e uma entrada indireta simétrica da original. Quando o objeto inicial for simétrico, as duas representações são idênticas e se reforçam. Ao contrário, quando devemos discriminar imagens em espelho, as duas representações são antagônicas e esse conflito interno diminui a aprendizagem, mesmo se a representação direta acabe por importá-la.

Se esses raciocínios são justos, um princípio de simetria deveria se revelar na anatomia mesma das conexões calosas. Deveríamos encontrar vias de projeção nervosas que ligassem, ponto a ponto, as regiões simétricas das áreas visuais. Tal é efetivamente o caso[20], e isto constitui um elemento a mais em favor do modelo de Corballis e Beale. A geometria dessas conexões é notável: um neurônio situado na área visual primária do hemisfério esquerdo envia um axônio que deixa esta região segundo um eixo perpendicular ao córtex, liga-se ao feixe de conexões do corpo caloso, liga-se ao hemisfério oposto, depois, num ponto bem preciso, corta em direção ao córtex e atinge o simétrico exato de seu ponto de partida (Figura 7.5). Tais neurônios foram observados na área visual primária do rato e do camundongo e na área secundária do macaco. Não se conhece sua função, mas sua geometria parece ideal para simetrizar as informações visuais e facilitar a detecção dos objetos simétricos.

Se essas conexões simétricas foram às vezes negligenciadas é porque elas não constituem senão uma fração das conexões que ligam as áreas visuais dos dois hemisférios. O feixe de conexões mais facilmente identificável não é simétrico, mas liga representações da região central do campo visual nos dois hemisférios nos quais assegura a continuidade. A visão carrega, com efeito, um paradoxo bem conhecido: subjetivamente, não percebemos nenhuma descontinuidade em nosso campo visual, enquanto objetivamente ele é partido em duas metades: a parte esquerda é representada no hemisfério direito e a parte direita no hemisfério esquerdo (Figura 7.5). É provável que as conexões inter-hemisféricas joguem um papel essencial na manutenção desta continuidade funcional, a despeito da separação anatômica. Essas conexões se concentram, com efeito, sobre a região de descontinuidade (eixo vertical) e ligam ponto a ponto os setores da área visual direita e esquerda, que codificam a mesma posição visual. Uma verdadeira costura se estabelece e restabelece a continuidade funcional dos dois semimapas.

Campo visual

Zona projetada em direção ao hemisfério direito

Zona projetada em direção ao hemisfério esquerdo

A B C

Meridiano central

Áreas visuais esquerdas

Áreas visuais direitas

A B C

Conexões esquerdas que asseguram a simetria

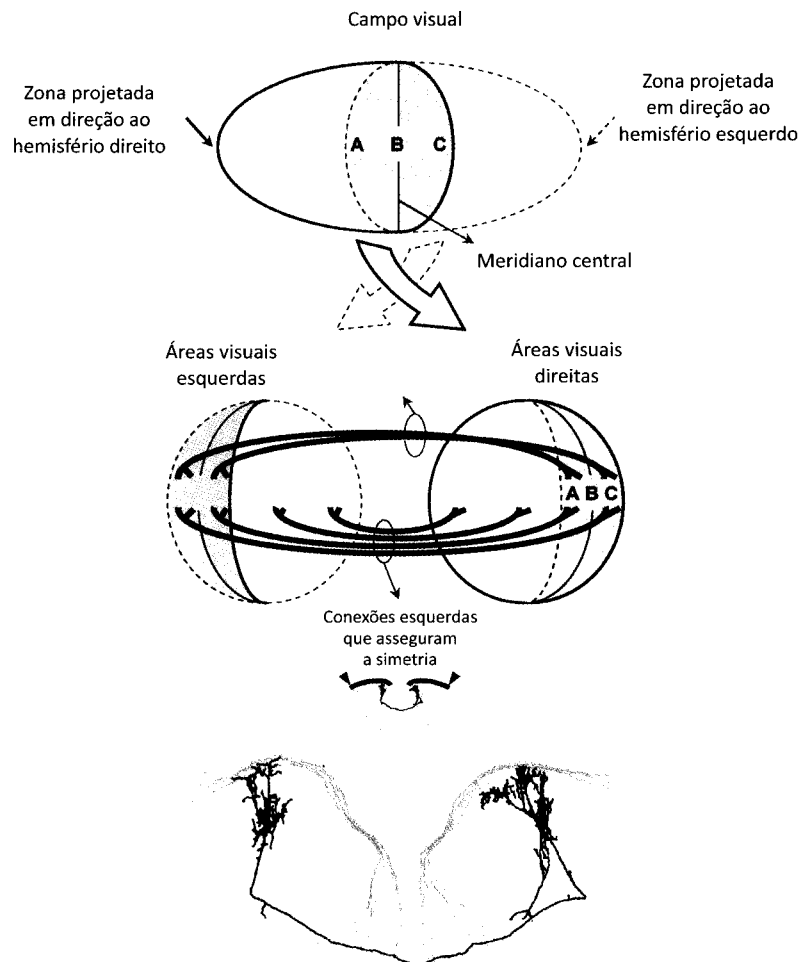



Figura 7.5 Continuidade e simetria em espelho são os dois princípios de organização das conexões visuais que ligam os dois hemisférios. O diagrama ao alto, inspirado nos trabalhos de Olavarria e colaboradores. (2003) no rato, lembra que a metade esquerda do campo visual é codificada no hemisfério direito, e a metade direita no hemisfério esquerdo, com apenas uma fraca zona de superposição. Se não percebemos nenhuma descontinuidade, é porque uma parte das conexões entre os hemisférios assegura a continuidade funcional do campo visual e liga as regiões do córtex que codificam o mesmo ponto do campo visual. Essas conexões não concernem senão à região do meridiano central e não são simétricas, mas mudadas por translação. Contudo, existem outras conexões inter-hemisféricas que ligam os pontos simétricos do campo visual, aí compreendidas em sua periferia. Seu papel poderia ser o de assegurar a percepção da simetria e da simetrização das aprendizagens. A figura embaixo mostra a surpreendente geometria de um neurônio da área visual primária do rato, que liga as regiões visuais simétricas do hemisfério direito e esquerdo (cf. Houzel *et al.*, 2002).

Os trabalhos de Jaime Olavarria e de seus colegas de Seattle mostraram que existe uma competição, no curso do desenvolvimento, entre o princípio de continuidade do campo visual e o princípio da simetria[21]. As conexões simétricas estão presentes desde o nascimento, sem dúvida, posicionadas pelos gradientes de atração química. Contudo, elas são em grande parte eliminadas, nos primeiros dias de vida, em proveito das conexões que asseguram a continuidade do campo visual. É a atividade neuronal espontânea, provinda da retina, que parece constituir o sinal que permite aos neurônios da região direita e esquerda "saberem" que eles codificam um mesmo ponto do campo visual. Com efeito, o posicionamento das conexões de costura acontece no rato, muitos dias antes que ele abra os olhos e não se produz se a atividade proveniente da retina for perturbada, por exemplo, no animal enucleado. Nesse último caso, se observa um excesso de conexões simétricas. Essas observações no animal em desenvolvimento são muito interessantes porque sugerem que patologias muito precoces de eliminação sináptica, nos últimos meses da gestação e nos primeiros meses de vida no homem, poderiam engendrar um excesso de simetria das conexões visuais. Tal fusão de conexões poderia explicar que certas crianças tenham tantas dificuldades em distinguir sua direita da esquerda, ou as letras simétricas "b" e "d"? Antes de debatê-lo, é necessário, em primeiro lugar, examinar por quais mecanismos nosso cérebro consegue finalmente fazer essas distinções.

O SIMÉTRICO QUE DORME

Se nosso sistema visual não fizesse senão simetrizar tudo que ele capta, cometeríamos todos, de modo permanente, erros em espelho: ser-nos-ia estritamente impossível distinguir o "p" do "q" ou o sapato direito do esquerdo. De um modo muito feliz, parte de nossas áreas visuais preserva a distinção entre direita e esquerda.

Conforme observam numerosos autores[22], tudo se passa como se tivéssemos, de fato, dois sistemas visuais no seio de nosso cérebro. A via occípito-temporal, sobre a qual tenho insistido até o presente, interessa-se pelo reconhecimento dos objetos. Ela é, pois, muito sensível à identidade, à forma e à cor das imagens, mas se interessa pouco por seu tamanho ou sua orientação no espaço – e ela generaliza por simetria em espelho. Contudo, existe outra via de tratamento das informações visuais, a via occípito-parietal, que se interessa pela programação da ação.

Para ela, pouco importa a cor ou a natureza exata do objeto. Só contam sua distância, sua posição e sua rapidez e as orientações de seus contornos – todos os parâmetros que determinam a maneira pela qual podemos agir sobre um objeto. David Milner e Mel Goodale resumem em duas palavras esta distinção fundamental: o córtex ventral é a via do "que" e o córtex parietal dorsal, a via do "como".

"No começo era a ação", diz o Fausto de Goethe. Se nós conseguimos, mal ou bem, distinguir nossa direita de nossa esquerda, parece claro que o devemos à via do "como". Crianças, nós aprendemos que nossa mão direita é a do desenho, da escrita... ou de fazer o sinal da cruz! Nas ações, não temos nenhum trabalho em distinguir os objetos em espelho: nosso sistema dorsal adapta automaticamente nossos gestos de orientação dos objetos. Não utilizamos o mesmo gesto para apanhar uma caçarola voltada para a direita ou para a esquerda. Mesmo se nosso sistema ventral, mal sensível à orientação, nos afirme que se trata do mesmo utensílio de cozinha. É o mesmo sistema dorsal que, voltado para si mesmo, nos permite imaginar gestos ou movimentos virtuais. Por esse viés, podemos fazer os objetos voltarem-se mentalmente. Utilizamos esta rotação mental quando lemos um mapa, ou quando julgamos em que medida duas imagens representam o mesmo objeto visto sob dois ângulos diferentes.

Em resumo, tudo se passa como se nós fôssemos habitados por duas pessoas bem diferentes. Uma, que poderíamos chamar o "colecionador", reconheceria e etiquetaria os objetos, mas seria incapaz de interagir com eles ou mesmo de perceber sua orientação no espaço. A outra, a "manual", agiria, compararia, manipularia... mas não identificaria os objetos cujos contornos, contudo, ela analisaria finamente.

Na vida normal, nossos dois sistemas visuais colaboram estreitamente, se bem que não tenhamos nenhuma consciência de sua divisão. Mas a patologia cerebral faz muitas vezes ressurgir as divisões internas. Oliver Turnbull, do departamento de psicologia do *King's College* de Aberdeen, na Escócia, estudou várias dezenas de pacientes acometidos de patologias cerebrais e mostrou como sua lesão induz uma dissociação, muitas vezes cortada, como a fio de navalha, entre os dois sistemas visuais. Considere o caso de dois pacientes, o senhor D. M., que sofreu um traumatismo craniano, e a senhora L. G., que foi acometida de vários ataques cerebrais na região têmporo-parietal direita[24]. Oliver Turnbull lhes mostrou imagens de objetos familiares em todas as orientações: um helicóptero invertido, um canguru em sua orientação normal, um telefone virado em torno de um quarto, etc. Quando se trata de nomeá-los, D. M. fracassa de modo lamentável, enquanto L. G. se sai razoavelmente bem. Quando se trata de julgar se os objetos estão bem orientados, é o contrário: D. M. o consegue sem problemas, mesmo para os objetos que ele não reconhece, enquanto L. G. encontra grandes dificuldades. Em D. M., a via ventral do "que" está dramaticamente deteriorada, enquanto em L. G. é a via dorsal do "como" que não funciona mais.

A mesma dissociação entre identidade e orientação dos objetos se observa, aliás, no macaco: as lesões temporais ventrais impedem o animal de distinguir formas tão simples quanto uma cruz ou um redondo, uma vez que elas não têm nenhuma influência desde que essas formas não difiram senão por sua orientação (por exemplo, um "6" de um "9", ou um "b" de um "d"). O inverso é verdadeiro nas lesões parietais: o animal se torna então semelhante a uma criança pequena capaz de aprender a diferença entre um "a" e um "b", mas não entre um "b" de um "d"[25].

O sistema do "como" compreende, de fato, múltiplas áreas cerebrais cuja organização nós começamos com esforço a compreender. Certas regiões se interessam mais pelos gestos das mãos, outras pelo movimento dos olhos. Noutras regiões, ainda, a divisão pertinente concerne à natureza das relações espaciais que são codificadas. Distância, mas também tamanho, número, forma, movimento e orientação dos objetos fazem apelo a regiões parcialmente especializadas. É assim que, em certos pacientes, particularmente após lesões na região parietal direita, só a distinção entre direita e esquerda não funciona mais. A lesão revela então o simétrico que adormece no sistema ventral.

Olivier Turnbull e Rosaleen McCarthy descreveram um dos primeiros casos verdadeiramente convincentes dessa síndrome de cegueira para as imagens em espelho: o paciente R. J., um homem de 61 anos que havia sofrido lesões bilaterais do lobo parietal consecutivas a um infarto do miocárdio[26]. Como uma rocha, o senhor R. J. afirmava que não via *nenhuma* diferença entre um objeto e sua imagem em espelho. Se a propusessem, ele admitia que as duas imagens não estavam bem alinhadas. Mas desde que fossem separadas, ele não via mais a diferença. "Eu sei que, depois do que vocês fizeram, elas devem ser diferentes – contudo, quando eu olho uma e depois a outra, elas me parecem absolutamente idênticas", dizia ele.

A fim de explorar esta patologia estranha, Turnbull e McCarthy apresentaram ao paciente três imagens quase idênticas. Entre elas se imiscuía um intruso que o senhor R. J. devia tentar detectar. R. J. não experimentava nenhuma dificuldade em captar as minúsculas diferenças de detalhe, por exemplo, um coelho com quatro orelhas entre dois coelhos nor-

mais. Ele sabia, do mesmo modo, captar um coelho deitado de costas. Mas era incapaz de captar o coelho voltado para a direita entre os outros coelhos orientados para a esquerda (Figura 7.6). Vários outros casos bastante similares de "cegueira em espelho" foram descritos desde então[27]. Múltiplos testes de controle mostram que só a inversão direita-esquerda lhes coloca problemas maiores. Seja que se trate de desenhos de animais, de utensílios, seja de objetos totalmente novos em arame, esses pacientes experimentam imensas dificuldades em distinguir sua imagem em espelho. Tudo se passa como se, tendo perdido as informações de orientação esquerda-direita fornecidas pela via visual dorsal, eles se apoiem, a partir de então, na única via ventral, cega à orientação.

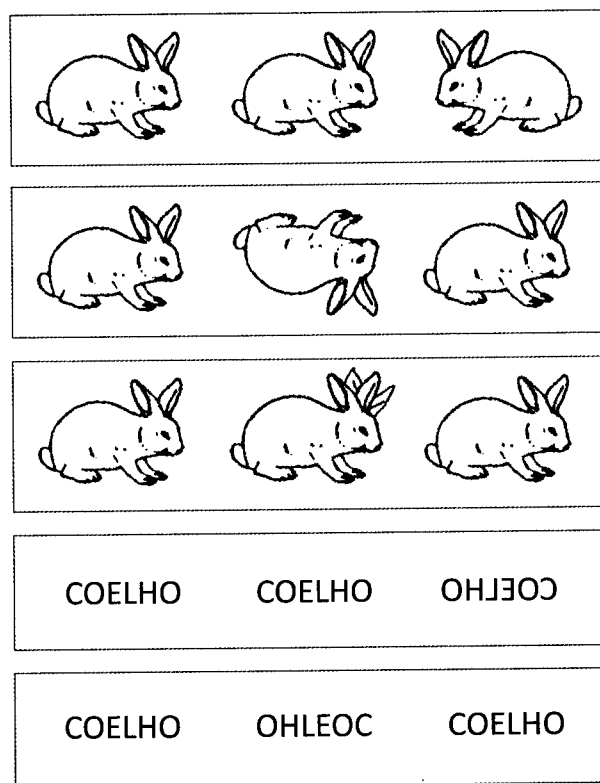



Figura 7.6 Após uma lesão cerebral, certos pacientes não conseguem mais distinguir as imagens em espelho. O teste do intruso foi desenvolvido por Oliver Turnbull e Rosaleen McCarthy (1996) a fim de testar a percepção da orientação espacial. Em cada fileira, é necessário detectar qual difere da outra. O paciente R. J. fracassava unicamente quando a diferença residia na orientação direita-esquerda das imagens (fileira ao alto), mas acertava todos os outros testes, aí compreendidos aqueles que residiam na orientação das palavras (fileiras embaixo).

A LEITURA, OU QUANDO O ESPELHO SE QUEBRA

Existe, contudo, uma exceção: ela nos conduz ao coração de nosso tema, a leitura. Quando eles veem palavras escritas, nem o senhor R. J., nem nenhum dos outros pacientes que sofrem dos distúrbios de orientação esquerda-direita experimentam dificuldades. Todos conseguem ler as palavras e captar imediatamente se elas foram escritas para a direita ou inversas. Eliminar o intruso numa lista de palavras lhes é fácil, sejam formadas por inversão de letras individuais (RIO-ЯIO), da palavra inteira (CABELO-OLEBAC), seja combinando as duas inversões ao mesmo tempo (RIO-OIЯ). Todas essas modificações lhes saltam aos olhos, como a qualquer bom leitor – enquanto, repitamos, eles não percebem a menor diferença entre as formas não linguísticas tais como entre ☜ e ☞.

Assim, confirma-se que a escrita obedece a regras particulares – quando nos tornamos competentes em leitura, nosso sistema ventral desaprende a simetria em espelho. No início da aprendizagem da leitura, para distinguir as letras em espelho, como "b" e "d", temos inicialmente necessidade de informações sobre orientação espacial que fornece nosso sistema dorsal. Só ele pode nos dizer se a letra está voltada para a direita ou para a esquerda porque nosso sistema ventral nos diz que se trata de um só e mesmo objeto visto sob ângulos diferentes. Progressivamente, contudo, nosso sistema ventral consegue quebrar sua simetria. Ele aprende a não considerar "b" e "d" como duas visões diferentes do mesmo objeto. Sem dúvida, destina-lhes detectores neuronais especializados que não generalizam mais em espelho. Esses detectores servem de ponto de entrada à compilação de todo tipo de estatísticas sobre as letras e as palavras, que não se aplicam senão à direção normal da leitura. Desenvolve-se, então, como nós já vimos, uma hierarquia neuronal especializada para o reconhecimento visual das palavras que, ao contrário de seus vizinhos especializados nos objetos, ou nos rostos, cessa de confundir as imagens em espelho.

Essa quebra de simetria parece não se reproduzir senão para os caracteres escritos. Torna-se necessário, ademais, que o sistema de escrita também seja assimétrico, o que não é sempre o caso. Os hieróglifos egípcios se escreviam indiferentemente nos dois sentidos, da direita para a esquerda ou vice-versa, virando todos os caracteres. Os personagens e os animais indicavam a direção da leitura: sua cabeça era sempre virada para o início da linha. Da mesma forma, o grego antigo podia se escrever na forma "bustrofédon", quer dizer, seguindo o percurso do boi que la-

bora no campo, alternando as linhas escritas da esquerda para a direita e da direita para a esquerda. Nem os escribas egípcios, nem os gregos tinham necessidade de quebrar a simetria de seu sistema visual. De fato, sua estranha escrita bidirecional não teria surgido se seu sistema visual, espontaneamente, não tivesse julgado idênticas formas simétricas como 𓅃 e [illegible]. Ainda hoje, certos sistemas de escrita não impõem quase quebra da simetria. O chinês possui, por certo, alguns caracteres comparáveis aos nossos "b" e "d", isto é, símbolos distintos, mas quase simétricos um do outro como 信 e 訃 ou ainda 亻 e ト. Outras escritas como o tamil, ao contrário, não utilizam senão caracteres cursivos elegantes tais como (இ, ஞ ou ஹ), que não acarretam nenhuma possibilidade de confusão em espelho. Esta diferença cultural se traduz por uma mudança na competência perceptiva: um leitor do tamil confunde as imagens em espelho e crê, por exemplo, captar a presença do triângulo ◢ no interior da imagem ◣●[28].

ESPELHO QUEBRADO... OU ESPELHO MASCARADO?

Mesmo num leitor do alfabeto latino, que diferencia "b" de "d" e "p" de "q", a simetria é totalmente quebrada? Nosso sistema visual, quando vê caracteres escritos, cessa verdadeiramente de generalizar em espelho? Ou bem continua a fazê-lo sem que estejamos conscientes disto? Lembrem-se da teoria de Orton. Ele postulava que, mesmo no bom leitor, o hemisfério direito continua a representar as letras do hemisfério esquerdo em espelho. Para Orton, aprender a ler consiste em prestar atenção à representação orientada no sentido apropriado e a negligenciar a representação inversa, sem, contudo, que essa deixe de existir. O espelho da leitura não seria, pois, quebrado, mas apenas mascarado.

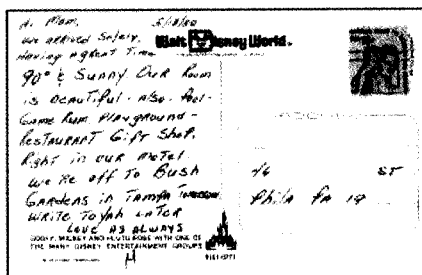
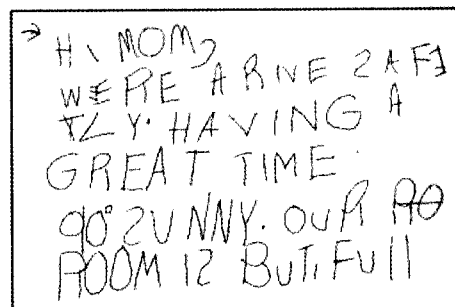
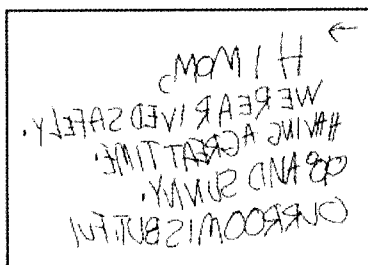
Hospedamos, então, inconscientemente, a imagem em espelho das palavras que lemos? Esta hipótese não é tão absurda quanto parece. Desde as primeiras etapas do tratamento visual, as letras não são formas como as outras. Antes que nosso cérebro as tenha reconhecido, ou talvez mesmo em paralelo com seu tratamento linguístico, pode ser que elas sejam tratadas como qualquer outra imagem e, portanto, simetrizadas. De fato, não somos totalmente desprovidos de competências para as palavras em espelho. Empregando um pouco de esforço, podemos decifrá-las, letra após letra. Isto não sugere, precisamente, que o nível precoce da representação das letras permanece reversível, ao contrário do nível mais profundo da forma visual das palavras?

Outras anedotas sugerem que dispomos igualmente de programas motores adaptados à escrita em espelho. Se você experimentar simplesmente escrever em espelho, sem dúvida não conseguirá; mas escreva sobre uma folha de papel colocada sobre um tabuleiro de uma mesa, como se você pudesse ver através, e você verá que o gesto chega invertido muito naturalmente. Do mesmo modo, você pode escrever simultaneamente com a mão direita em escrita normal e a mão esquerda em espelho. A escrita em espelho chega mais naturalmente à mão esquerda, o que credita a ideia de uma simetria em espelho entre os dois hemisférios.

Os dados mais convincentes, contudo, provêm da patologia cerebral. Um paciente hemiplégico, em torno dos quarenta, mostrou, temporariamente, uma escrita em espelho. Isto ocorre com frequência quando um paciente, inicialmente destro, se vê forçado por sua patologia a utilizar a mão esquerda. A maior parte do tempo, o distúrbio concerne só à escrita e não à leitura: o paciente não consegue ler o que escreveu invertido. Contudo, existem alguns casos notáveis em que a leitura e a escrita em espelho aparecem simultânea e brutalmente após uma lesão cerebral.

É o caso da senhora H. N., uma americana de 51 anos, vítima de um acidente de carro[29]. Depois de seu acidente, a senhora H. N. sofria de perturbações moderadas de atenção, de planejamento e da memória, associadas a uma redução bilateral do metabolismo dos lobos frontais. Ela se queixava, sobretudo, de não poder ler nem escrever. No entanto, um indício colocou-lhe a pulga atrás da orelha: por que os painéis da estrada indicavam "POTS" ao invés de "STOP"? Progressivamente, ela se deu conta de que lhe era fácil escrever e ler em espelho. Sua intuição foi confirmada por testes de laboratório. Fosse qual fosse a mão utilizada, quando a senhora H. N. tentava escrever na direção correta, sua escrita era laboriosa e cheia de erros. Quando escrevia invertido, ao contrário, sua escrita era mais fluente, embora torta (Figura 7.7).

Mais surpreendente ainda, sua leitura era mais precisa e rápida quando as palavras eram apresentadas em espelho. Era necessário menos de um segundo para compreender uma palavra quando ela era apresentada invertida, praticamente o tempo que uma pessoa normal emprega para ler o invertido; mas eram necessários dois segundos e meio se a palavra aparecesse na direção correta, isto é, quatro vezes mais tempo. A mesma coisa quando as palavras eram apresentadas brevemente sobre a tela do computador: uma apresentação de um quarto de segundo era suficiente para determinar se uma cadeia de caracteres apresentada em es-

(A) Antes do acidente

(B) Depois do acidente, escrita na direção normal

(C) Depois do acidente, escrita em espelho

(D) Imagem no espelho do texto C

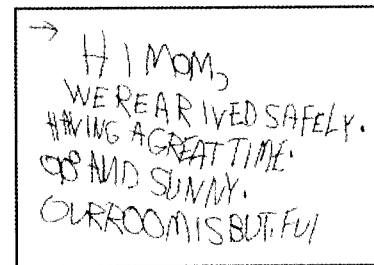



Figura 7.7 Alguns pacientes com lesões cerebrais se põem a escrever e a ler em espelho. Veem-se aqui diversos exemplos de escrita da paciente H. N., antes e depois de seu acidente (cf. Goffried et al., 2003).

pelho formava ou não uma palavra, o que não é, verdadeiramente, tão fácil. Experimente você:

circo
correr
nunca

Curiosamente, quando as palavras eram escritas normalmente, seu desempenho ocorria ao nível do azar se a duração da apresentação não excedesse mais de meio segundo. Assim, o acidente da senhora H. N. parecia ter perturbado gravemente sua escrita e sua leitura, revelando, embora, uma representação adormecida das palavras em espelho sobre as quais ela não tnha nenhuma consciência antes.

O caso da senhora H. N. não é isolado. Tentemos tirar algumas conclusões do punhado de pacientes similares que foram descritos[30]. Em primeiro lugar, as lesões são com frequência difusas, mal localizadas, quase sempre devidas a um traumatismo craniano: supõe-se necessário que elas afetem simultaneamente várias regiões cerebrais para que se re-

vele esta excepcional síndrome de leitura em espelho. Aliás, seria exagerar em excesso pretender que a escrita e a leitura desses pacientes sejam estritamente normais, com exceção de uma inversão em espelho. De fato, eles escrevem mal, seguidamente com a ajuda de maiúsculas em bastões, e todos apresentam dificuldades de leitura que lembram a leitura letra a letra das crianças pequenas.

O comportamento da senhora H. N. fornece outro indício interessante: mesmo em espelho, se ela lia convenientemente, ela cometia muitos erros na leitura das palavras irregulares tais como:

femme
oignon
chorale

Ela parecia não ler essas palavras senão por via de uma tradução laboriosa dos grafemas em fonemas. Esses índices levam, pois, a pensar que esses pacientes perderam o uso dos circuitos normais da leitura, notadamente daqueles que reconhecem a forma visual das palavras e que permitem o acesso a um léxico de formas, de fonemas e de significado.

Emito, pois, a hipótese de que, nesses pacientes que leem em espelho, as lesões cerebrais aboliram os mecanismos de reconhecimento das palavras escritas, de onde esses pacientes devem decifrar as palavras servindo-se de seu reconhecimento intacto das letras e dos grafemas elementares. No cérebro do leitor competente, esse nível mais elementar da leitura é provavelmente o único a permanecer simétrico. É a razão pela qual os pacientes conseguem ainda ler em espelho – mas com uma forma de leitura hesitante, que se apoia mais na decifração letra a letra do que na leitura propriamente dita.

Não é tudo: para que a leitura e a escrita em espelho se revelem após uma lesão no adulto, é necessário, provavelmente, não apenas uma lesão dos circuitos da leitura, mas de modo igual, um segundo déficit que afete a orientação da atenção no espaço. A maior parte dos pacientes experimenta, com efeito, dificuldades de orientação espacial que ultrapassam de muito a leitura. Uma paciente confundia sua direita com a esquerda e desenhava em espelho os mapas da Austrália e da Grã-Bretanha[31]. Outra, que não sabia mais em que direção desenhar um mostrador de relógio, sofria também de perturbações de orientação temporal e numérica. Ela acreditava que o dia seguinte à sexta-feira era a quinta-feira e que aos 44 anos, ela teria 43 no ano seguinte[32]. Quanto à senhora

H. N., ela sofria de distúrbios de atenção executiva, isto é, de dificuldades em imaginar uma estratégia e de segui-la.

Quais papéis esses distúrbios espaciais e estratégicos jogam na leitura e escrita em espelho? No curso da leitura, as regiões parietais e frontais enviam sinais descendentes em direção às áreas visuais a fim de selecionar a região do espaço a partir da qual se começa a ler. Uma lesão dessas regiões poderia perturbar a estratégia de leitura e, em particular, sua direção. Conforme esta hipótese, pode ser que é porque os pacientes adotem uma má estratégia de leitura e de escrita que eles comecem a ler pela direita e que não prestem atenção senão às representações em espelho que seu sistema visual conota. Esta interpretação reencontraria a de Orton, segundo a qual a atenção seletiva é indispensável para quebrar a simetria de nosso sistema visual, negligenciando as representações orientadas em espelho.

Sejam quais forem, os espetaculares casos de leitura em espelho nos revelam a face oculta da leitura. Um leitor simétrico dorme, talvez, em cada um de nós, mas esta competência adormecida não se revela à luz senão após patologias múltiplas cujos laços ainda restam por desembaraçar.

SIMETRIA, LEITURA E RECICLAGEM NEURONAL

Resumamos. Os circuitos do sistema visual da criança, se são geralmente aptos a se reciclar a fim de aprenderem a ler, possuem uma propriedade indesejável para a leitura: eles simetrizam os objetos. É a razão por que todas as crianças cometem, no início de sua aprendizagem, erros de leitura e de escrita em espelho. Para elas, as letras "b" e "d" não são senão um e o mesmo objeto sob dois ângulos diferentes.

A aprendizagem da leitura exige ultrapassar esse estágio do espelho e de "desaprender" a generalização por simetria. Como? A distinção entre direita e esquerda começa verossimilmente na via visual dorsal, aquela que comanda os gestos no espaço. A criança aprende a traçar os contornos das letras e associa os gestos e as orientações diferentes de cada um deles. Progressivamente, esta aprendizagem motora se transfere à via visual ventral que reconhece os objetos. A criança aprende a prestar atenção à imagem das letras numa orientação particular. Ela aprende a vê-las como traços de duas dimensões mais que como volumes que podemos virar no espaço. Constrói-se, então, uma competência para os grupos de letras. Esta representação dos bigramas, dos grafemas e dos morfemas se desenvolve quase exclusivamente no hemisfério esquerdo e unicamente para as letras apresentadas em sua orientação normal.

Desde então, a simetria é quebrada: o leitor competente dispõe de importantes conhecimentos visuais sobre a escrita normal, mas praticamente nenhum sobre a escrita em espelho. Permanece simplesmente nele, nos níveis menos elevados da leitura, uma representação adormecida da imagem em espelho das letras. Essas continuam a ser tratadas como qualquer outra forma visual e, pois, a serem simetrizadas – mas esta imagem em espelho não é mais explorada pela leitura normal, que aprendeu a descartá-la.

A necessidade de vários meses a uma criança de inteligência normal para desaprender a generalização em espelho aporta um argumento de peso em apoio de uma teoria da reciclagem neuronal. Se o cérebro não fosse senão um barro virgem desprovido de estrutura e capaz de absorver não importa qual ambiente cultural, por que adotaria ele representações em espelho tão inadequadas à leitura? O termo reciclagem neuronal sublinha que o tecido neuronal que permite a aprendizagem cultural possui propriedades estruturais, que ele herdou de sua história evolutiva antes de se converter. Cada região cortical possui suas vantagens e suas fraquezas, que não podem ser senão parcialmente modificadas para a aprendizagem cultural. A cultura humana deve compor com os vieses biológicos e encontrar o meio de adaptá-los a sua nova utilização.

UM CASO SURPREENDENTE DE DISLEXIA EM ESPELHO

Como esta visão de leitura esclarece os distúrbios de aprendizagem da leitura na criança? Vimos no capítulo 6 que, na maioria das crianças disléxicas, as dificuldades de leitura provêm de um déficit fonológico. Contudo, mencionei, igualmente, a existência provável de uma segunda categoria, menor, de disléxicos de origem visual. Seu problema proviria, em parte, da "desaprendizagem" da simetria em espelho?

No imaginário do grande público, um disléxico é alguém que confunde sua direita com sua esquerda e se engana na orientação das letras. Isso não é somente um mito: a orientação das letras coloca dificuldades particulares a bom número de crianças disléxicas, que têm tendência em confundir "p" com "q", ou "b" com "d" [33]. Contudo, mesmo

entre os disléxicos, essas dificuldades não são geralmente mais que transitórias: elas sobrevêm entre os 7, e 10 anos, quando a criança aprende a forma das letras e desaparecem a seguir. As crianças disléxicas não parecem mais dotadas que as outras para ler em espelho. Na maioria dos disléxicos, as dificuldades visuais não parecem, pois, jogar um papel primordial[34]. Aquelas que são efetivamente atestadas poderiam bem não ser senão a consequência dos distúrbios da fonologia: se não escuto bem a diferença entre os fonemas /b/ e /d/, que são muito próximos, sem dúvida, precisarei de mais tempo para aprender que as formas visuais "b" e "d" se referem a letras completamente diferentes. Como por um feito expresso, as letras simétricas são também referentes a pronúncias que se assemelham. Não é, pois, de estranhar que esta conjunção de duas dificuldades coloque um problema às crianças que sofrem de distúrbios fonológicos.

Contudo, em algumas crianças, a confusão entre esquerda e direita parece ser verdadeiramente a causa primária da dislexia. Existe, pelo menos, um exemplo surpreendente, o caso de uma jovem estudada em grande detalhe pelo neurofisiologista Michael McCloskey e seus colegas[35]. O déficit da senhorita A. H. não foi identificado senão tardiamente, com a idade de 20 anos, Era, então, uma estudante brilhante, engajada nos estudos de psicologia da Universidade Johns Hopkins de Baltimore, onde ensinava o professor Michael McCloskey. No final de um de seus cursos sobre os distúrbios do desenvolvimento, ela vem procurá-lo para lhe assinalar que, a despeito de seus bons resultados, havia sofrido, durante toda a escolaridade, dificuldades severas em leitura e cálculo. McCloskey decidiu submetê-la a alguns testes. Fez muito bem: a jovem revelou-se sofrer de uma variedade surpreendente de dislexia, ligada a uma desorganização seletiva das informações espaciais em todos os níveis da leitura.

Quando lia uma letra isolada, A. H. cometia quase exclusivamente erros espaciais: ela confundia os "p" com os "q" e os "m" com os "w". Em contraste, não se enganava quase nunca com as letras cuja identidade não dependia da orientação, como "g" ou "k". Quando lia as palavras, A. H. se enganava de novo com a orientação das letras, invertendo igualmente suas posições no interior das palavras (Figura 7.8). Foi assim que *snail* (escargot) foi lida como *nails* ("unhas"). Por fim, quando lia frases, ela invertia com frequência as palavras, pelo menos quando sua ordem não era fortemente condicionada pelo contexto.

A senhorita A. H. parecia viver num mundo visual onde as relações espaciais não cessavam de flutuar. Todas as palavras se tornavam ambíguas: onde percebemos uma série límpida de letras, ou seja, "dons", ela detectava uma multiplicidade de possibilidades ("dons", "bons", "snob"...), entre as quais lhe cabia escolher uma em função do contexto da frase. Para demonstrar a extensão de sua confusão, Michael McCloskey tentou uma experiência singular. Ele fê-la ler frases cuja orientação e ordem das letras e das palavras haviam sido misturadas, por exemplo: *The stock market is storngly affected by dercebtions the the of pulbic* (A dolsa é foretmente influenciaba dercebções qelas púlbico do). Não somente A. H. as leu sem hesitação, corrigindo espontaneamente os erros – mas ela afirmou que 60% das frases estavam estritamente normais! Ela havia vencido sempre seu déficit e não tinha, pois, nenhuma consciência da instabilidade de sua representação espacial das letras e das palavras.

O déficit de A. H. não se limitava à leitura. Ela se revelou igualmente incapaz de copiar os desenhos em sua orientação correta. Quando copiava um desenho, havia perto de uma chance sobre duas de que o resultado fosse invertido em espelho (Figura 7.8). Encontraram-se em seu dossiê escolar cópias de pinturas que ela havia feito, na infância, por ocasião de uma visita ao museu: os objetos e os personagens já lá estavam invertidos. Ela havia tentado copiar os chapéus do quadro de Renoir, *Le Déjeuner des canotiers*, mas, no seu desenho, os chapéus dos personagens à esquerda tinham sido trocados com os da direita e vice-versa.

Mais surpreendente ainda, a senhorita A. H. invertia às vezes os gestos mais banais da vida cotidiana. Uma prova solicitava-lhe fechar os olhos enquanto era colocado diante dela um cubo de madeira. Ela deveria então abrir os olhos e agarrar o cubo tão rápido quanto possível. Uma câmera de vídeo, que filmava toda a cena, captou esse fenômeno surpreendente: dois terços do tempo, sua mão se dirigia primeiro na direção oposta à do objeto (Figura 7.8). Era somente num segundo momento que ela corrigia sua trajetória. Nesse teste, S. H. invertia tantas vezes direita com esquerda que seu desempenho era pior que os de uma pessoa que tivesse respondido ao azar. Todos os outros aspectos de seu gesto eram apropriados, tanto em distância quanto em excentricidade ou velocidade. A senhorita A. H. não sofria, pois, senão de um déficit muito seletivo de orientação espacial. Seu mundo visual parecia se voltar sem cessar como uma luva, como se um gênio mau lhe impusesse habitar um labirinto de espelhos.

Palavra apresentada	Resposta dada por A. H.
dog	bog
bone	done
pig	dig
star	tars
rib	rip
sun	nuns
skirt	skit
dust	dusk

Imagens para cópia

Cópia de A. H.

Trajetória da mão

Objeto visado

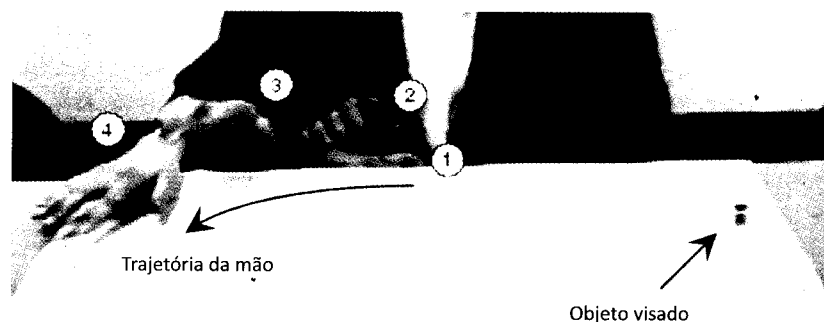
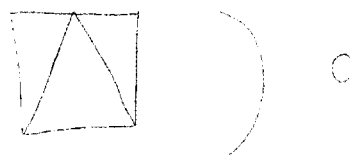



Figura 7.8 A dislexia parece às vezes devida a um excesso de simetria das funções visuais. Veem-se aqui algumas manifestações das perturbações espaciais da senhorita A. H., uma jovem disléxica. Seus erros de leitura (ao alto) concernem principalmente às letras reversíveis "b", "d", "p" e "q", mas afetam igualmente a ordem e mais raramente a identidade de certas letras. A. H. não consegue copiar um desenho sem inverter com frequência a orientação, particularmente conforme o eixo esquerda-direita (imagem ao meio). Uma fotografia em exposições múltiplas mostra a mão de A. H. dirigindo-se em direção a uma posição exatamente simétrica à do objeto a que ela visa (embaixo) (cf. McCloskey et al., 1995 e 2000).

No curso de suas explorações, Michael McCloskey e seus colegas descobriram fortuitamente um meio de ajudar a senhorita A. H. Eles perceberam que seu déficit dependia principalmente das vias mais lentas da visão, aquelas que nos permitem analisar as cenas estáticas. Quando o objeto se deslocava, lampejava ou era apresentado durante menos de uma dezena de segundos, A. H. obtinha bem melhores resultados. Assim, era suficiente fazer lampejar as letras, as palavras e as frases a uma velocidade de dez ciclos por segundo, para que sua taxa de erros descesse praticamente ao nível do normal. Ignoramos de todo as razões desse fenômeno, que entra em conflito direto com a teoria proeminente segundo a qual a dislexia resulta de a via magnocelular do tratamento visual rápido ter sido atingida[36]. Mas esta manipulação era tão eficaz que A. H. adquiriu o hábito de ler sob a luz estroboscópica!

O caso da senhorita A. H. figura como anomalia na literatura científica sobre a dislexia. A este título, ele levanta mais questões que ele não resolve. Quantas crianças etiquetadas como disléxicas sofrem, de fato, como A. H. de um déficit primário de organização espacial da visão? Quantas poderiam se beneficiar com o mesmo tratamento estroboscópico? E donde provém esta misteriosa inversão em espelho do mundo visual? A senhorita A. H. sofre de uma lesão seletiva da via visual dorsal que permite localizar os objetos no espaço e distinguir a direita da esquerda? Ou bem ao contrário, a origem do déficit deve ser buscada na via ventral, que sofreria talvez de um excesso de conexões "simetrizantes" ao nível do corpo caloso? Pode-se igualmente evocar um distúrbio de aprendizagem: o mecanismo de eliminação sináptica, que permite "desaprender" a simetria quando aprendemos a ler, seria deficiente, deixando A. H. num estado de criança pequena, incapaz de perceber a diferença entre uma palavra e sua imagem em espelho. No futuro, a imagem cerebral poderá permitir aportar elementos de resposta a essas questões abertas.

Em definitivo, o caso fascinante da senhorita A. H. nos lembra, como em negativo, a importância de que se reveste a organização espacial das letras no desenvolvimento normal da leitura. Aprender a ler não é somente associar as letras no espaço, na boa ordem e com a orientação adequada. Um diálogo deve se instaurar, no cérebro do jovem leitor, entre a via visual ventral que reconhece a identidade das letras e das palavras e a via dorsal que codifica a posição no espaço e programa os movimentos dos olhos e da atenção. Que um ou outro desses protagonistas tropece e é toda a leitura que cambaleia.

Talvez seja necessário ver nesse papel essencial da via visual-espacial dorsal uma justificativa dos sucessos obtidos por certos métodos de ensino da leitura que repousam prioritariamente sobre a atividade motriz da criança. Nas escolas maternais inspiradas na psicóloga Maria Montessori, uma das atividades que preparam a criança para a leitura consiste em traçar com o dedo o contorno de grandes letras feitas com lixa. Esse traçado se faz sempre da esquerda para a direita, e respeitando a maneira como as letras se escrevem. Assim, esta atividade põe em relação o gesto, o toque, a visão e a direção no espaço. Impondo à visão uma exploração espacial e motriz assimétrica, ela facilita a ruptura da simetria da via visual ventral. Recentemente, Édouard Gentaz e seus colegas demonstraram que, na criança normal, este método multissensorial era mais eficaz que um simples treinamento fonológico visual[37].

Eis que se abre uma autêntica pista de pesquisas para o futuro. Poderíamos mostrar, com a ajuda da imagem cerebral, que o método tátil facilita as conexões entre a via dorsal e a via ventral? A exploração espacial das letras poderia igualmente ajudar as crianças que sofrem de uma dislexia de origem visual? Uma reeducação pelo toque permitiria à senhorita A. H. recuperar as capacidades normais de leitura? Tal é o duplo escopo dessas pesquisas: melhor compreender as dificuldades que encontra o cérebro humano quando ele se converte à leitura, mas igualmente selecionar os métodos de ensino e de reeducação ótimos, mais eficazes porque melhor adaptados ao cérebro da criança.

NOTAS

1 Cornell, 1985; McMonnies, 1992; Wolff & Melngailis, 1996.
2 Corballis, Macadie, Crotty & Beale, 1985; Wolff & Melngailis, 1996; Terepocki, Kruk & Willows, 2002; Lachmann & Geyer, 2003.
3 Corballis & Beale, 1976.
4 Beale, Williams, Webster & Corballis, 1972.
5 Tarr & Pinker, 1989.
6 Biederman & Cooper, 1991; Fiser & Bierderman, 2001.
7 Foster & Kahn, 1985; Dill & Fahle, 1998.
8 Corballis & Beale, 1976.
9 Rollenhagen & Olson, 2000.
10 Orton, 1925, 1937.
11 Corballis & Beale, 1976, 1993.
12 É tentador considerar aqui um possível papel para o gene ROBO1, implicado na dislexia (Hannula-Jouppi et al., 2005), que regula o percurso dos axônios de um lado a outro do sistema nervoso.

13 Rollenhagen & Olson, 2000; Baylis & Driver, 2001.
14 Logothetis et al., 1995.
15 Perrett et al., 1989.
16 Rodman, Scalaidhe & Gross, 1993.
17 Bornstein, Gross & Wolf, 1978.
18 Sasaki, Vanduffel, Knutsen, Tyler & Tootell, 2005.
19 Mello, 1965, 1966, 1967.
20 Abel, O'Brien & Olavarria, 2000; Houzel, Carvalho & Lent, 2002; Olavarria & Hiroi, 2003.
21 Vejam-se Olavarria & Hiroi, 2003, e as referências que aí se encontram.
22 Vejam-se notadamente Ungerleider & Mishkin, 1982; Goodale & Mishkin, 1982; Goodale & Milner, 1992.
23 No tópico relativo a esta dissociação entre a ação e o reconhecimento dos objetos, veja-se o notável caso descrito por Laurent Cohen em *L'Homme thermomètre*, 2004.
24 Turnbull, 1997; Turnbull, Beschin & Della Sala, 1997.
25 Walsh & Butler, 1996.
26 Turnbull & McCarthy, 1996.
27 Davidoff & Warrington, 2001; Priftis, Rusconi, Umilta & Zorzi, 2003; vejam-se também Feinberg & Jones, 1985; Riddoch & Humphreys, 1988; Davidoff & Warrington, 1999; Warrington & Davidoff, 2000.
28 Danziger & Pederson, 1998.
29 Gottfried, Sancar & Chatterjee, 2003.
30 Streifler & Hofman, 1976; Heilman, Howell, Valenstein & Rothi, 1980; Wade & Hart, 1991; Lambon-Ralph, Jarvis & Ellis, 1997.
31 Lambon-Ralph et al., 1997.
32 Streifler & Hofman, 1976.
33 Wolff & Melngailis, 1996.
34 Liberman et al., 1971; Fischer et al., 1978; Wolff & Melngailis, 1996.
35 McCloskey et al., 1995; McCloskey & Rapp, 2000.
36 Galaburda & Livingstone, 1993; Demb et al., 1997; Demb, Boynton, Best et al., 1998; Demb, Boynton & Heeger, 1998; Stein, 2001.
37 Gentaz, Colé & Bara, 2003.

8

Em direção a uma cultura dos neurônios

A leitura abre uma janela para as interações entre a cultura e o cérebro. O modelo de reciclagem neuronal pode ser estendido a invenções culturais outras que a leitura? As matemáticas, as artes ou a religião poderiam ser talvez, um dia, analisadas como outros tantos dispositivos culturais que se propagam porque entram em ressonância com nossos cérebros de primatas. Mas por que a espécie humana é a única que inventa uma cultura e opina assim conferindo aos seus circuitos cerebrais novos usos? Eu avanço a hipótese de que o cérebro humano dispõe de um novo "espaço de trabalho consciente", um vasto sistema de conexões corticais que quebra a modularidade cerebral e permite a recombinação flexível dos circuitos existentes para criar novos instrumentos mentais.

Quando se proclamou que a Biblioteca compreendia todos os livros, a primeira reação foi uma felicidade extravagante. Todos os homens se sentiram mestres de um tesouro intacto e secreto.

Jorge Luis Borges, *A Biblioteca de Babel*

Se Deus existisse, ele seria uma biblioteca.

Umberto Eco

Chegado ao término de nossa exploração do cérebro do leitor, medimos melhor por qual feliz fortuna da evolução nosso cérebro de primata consegue ler. Se livros e bibliotecas puderam jogar um papel tão determinante na evolução cultural de nossa espécie, deve-se muito ao fato de a invenção da escrita ter conduzido o homem a descobrir um

meio inédito de converter uma parte de seu córtex visual num instrumento linguístico. Que possamos assim modificar nossos circuitos cerebrais a fim de "escutar os mortos com os olhos" provém da mais pura oportunidade. Tivemos simplesmente a chance de dispor de regiões corticais que têm o poder de aprender a ligar alguns traços sobre uma página em branco aos significados e aos sons da linguagem.

Contudo, descobrimos, igualmente, que esses sistemas neuronais não são senão imperfeitamente adaptados à leitura. A sua pequena resolução, a lentidão da sua aprendizagem e a sua inadequada generalização por simetria constituem tantos dos estigmas de sua evolução, incapaz de prever que eles seriam, um dia, reciclados para o reconhecimento de palavras. Tenho a maior admiração pelas gerações sucessivas de escribas que, desde a antiga Suméria, tiraram partido desses circuitos, por tateios sucessivos, para conceber os sistemas de escrita sempre mais refinados e eficazes. Graças a eles, as patas de mosca que atapetam esta página lhes falam.

A RESOLUÇÃO DO PARADOXO DA LEITURA

No início desse livro, levantei uma questão estranha que denominei o "paradoxo da leitura". Como foi possível que, sem evolução genética maior, nosso cérebro tenha se adaptado à leitura? Por qual viés o primata humano se transformou em rato de biblioteca? Como uma invenção cultural tão recente quanto a leitura poderia deitar raízes nos circuitos cerebrais que jamais, no curso de seus milhares de anos de evolução, haviam sido confrontados com palavras escritas?

Sabemos agora que o paradoxo se esvai se dermos a volta ao problema. O cérebro humano jamais evoluiu para a leitura. Nenhum Grande Arquiteto programou nosso cérebro com vistas a fazer de nós os leitores de seu Livro. É, ao contrário, a própria leitura que evoluiu a fim de apresentar uma forma adaptada a nossos circuitos. Em alguns milhares de anos de ensaios e erros, todos os sistemas de escrita convergiram em direção a soluções similares. Todos fazem apelo a um jogo simples de caracteres que nossa região occípito-temporal esquerda não experimenta dificuldade intransponível para aprender e que ela consegue conectar às áreas da linguagem. A concepção das escritas está próxima de um ótimo que lhes permite, em alguns anos, invadir os circuitos neuronais do aprendiz leitor. Introduzi o conceito de "reciclagem neuronal" para descrever esta invasão, parcial ou total, por um objeto cultural novo dos territórios corticais inicialmente destinados a uma função diferente.

Creio na importância dos detalhes e é a razão pela qual o leitor me perdoará, espero, por haver descrito com tanta minúcia como funciona a leitura. Importava ilustrar muito concretamente dois aspectos essenciais do funcionamento cerebral.

Primeiro, a aprendizagem cultural não repousa sobre mecanismos gerais de aprendizagem, mas sobre circuitos neuronais pré-estabelecidos cuja função está estreitamente definida. No caso da leitura, esses circuitos começam a ser conhecidos com uma grande precisão: trata-se dos circuitos de reconhecimento visual invariante e de suas conexões com as áreas da língua falada. Sua rica estrutura e sua capacidade de aprendizagem, comuns a todos os primatas, delimitam uma margem restrita de sistemas de escrita admissíveis.

Em segundo lugar e, em consequência, as culturas humanas não seriam esses imensos espaços de diversidade infinita e de invenção arbitrária que nos descrevem certos pesquisadores em ciências humanas. As estruturas cerebrais restringem as construções culturais. Nossa capacidade de invenção não é infinita: ela repousa sobre um jogo de construção neuronal que nos é imposto. Se ela apresenta a aparência de uma enorme diversidade é porque ela emerge da combinatória exponencial de um repertório restrito de formas culturais fundamentais.

No caso da leitura, essas invariâncias culturais têm uma realidade tangível. No Capítulo 4, nós as observamos muito diretamente no inventário das formas visuais de Marc Changizi, cuja estatística se verifica em todas as escritas do mundo. Descrevi, do mesmo modo, como todas as escritas desde o chinês até o alfabeto, obedecem a um princípio morfofonológico – elas representam simultaneamente as raízes e as sonoridades das palavras. Assim, numerosos traços universais convergem por detrás da aparente diversidade das escritas.

A UNIVERSALIDADE DAS FORMAS CULTURAIS

Neste último capítulo, gostaria de defender a ideia de que a leitura não constitui senão um exemplo, particularmente bem apoiado, de invenção cultural, limitada por nossa arquitetura neuronal. Se o modelo de reciclagem neuronal possui seja qual for a generalidade, deveríamos poder associar cada uma de nossas atividades culturais a seus mecanismos cerebrais e mostrar que, em cada instância, as limitações da reciclagem impõem barreiras severas ao espaço dos possíveis. Mesmo se esta possibilidade pareça longínqua, pode ser que possamos estabelecer um dia uma lista dos componentes mais essenciais das culturas humanas (a organização familiar e social, a tradição religiosa, o estilo musical, as formas de expressão artística, etc.), e a compreender sua origem e sua necessidade pela análise dos grandes domínios de competência de nosso cérebro.

Designo, com meus melhores cumprimentos, esta "cultura de neurônios", cujas bases Jean-Pierre Changeux estabeleceu há mais de 30 anos[1], e que dariam conta, sem reducionismo excessivo, da extraordinária diversidade, contudo não infinita, das dimensões da cultura humana. Numa perspectiva "neuro-antropológica", cada um de seus traços deveria, *in fine*, ser colocado em ligação com os vários circuitos neuronais delimitados, cuja combinatória explicaria as formas múltiplas que tomam as representações culturais ao longo de nosso planeta. Bem entendido, seria *naïve* esperar a redução direta de uma invenção cultural, mesmo a mais simples, a fatores biológicos elementares tais como um gene, uma molécula ou uma categoria de neurônios. Como tentei ilustrar no caso da leitura, compreender os mecanismos cerebrais das invenções culturais exigirá jogar pontes, desde os circuitos de neurônios até as leis da psicologia e da sociologia.

Embora esta perspectiva possa parecer audaciosa, eu encontro certa sustentação na leitura de argumentos muito semelhantes em alguns de meus colegas. O linguista Noam Chomsky, por exemplo, sublinha os limites do relativismo cultural:

> Conforme um argumento comumente admitido, seria a riqueza e a especificidade dos instintos dos animais que explicariam suas notáveis explorações em certos domínios e sua falta de competência em outros; enquanto a espécie humana, desprovida de toda estrutura instintiva articulada, seria livre para pensar, para falar, para descobrir e para compreender sem limites. Tanto a lógica do problema quanto o que começamos a compreender sugerem que esta não é a boa maneira de caracterizar a posição de nossa espécie no mundo animal[2].

Desde 1974, o antropologo francês Dan Sperber sublinhava que "a imagem que se depreende da literatura etnográfica acumulada não é em absoluto a de uma variabilidade indefinida, mas, mais que tudo, a de variações extremamente elaboradas, no interior de um leque que parece arbitrariamente restrito[3]".

A hipótese segundo a qual a diversidade cultural mascara uma combinatória restrita de estruturas essenciais mentais universais, defen-

dida, desde o início, por Claude Lévi-Strauss, titular da cadeira de antropologia estrutural no *Collège de France*, encontrou confirmação nos trabalhos do antropologo cognitivo Donald Brown. Em sua obra *Human Universals*[4], ele arrola uma longa lista de aproximadamente 400 traços compartilhados pelo conjunto das culturas do planeta, desde os termos para as cores, os números ou pessoas, até a territorialidade, o cuidado com as crianças, a criação musical, o jogo, a existência de um sistema de leis e muitos outros ainda.

Quais são as origens desse repertório de traços culturais fundamentais? Segundo Dan Sperber[5], eles resultam da estrutura modular do espírito humano. Retomando a hipótese de Jerry Fodor[6], Sperber concebe o espírito como uma coleção de "módulos especializados" que evoluíram para responder a um domínio preciso de competência. Para Sperber, cada módulo possui seu domínio próprio, isto é, o conjunto de condições passadas que motivaram sua evolução, mas ele possui igualmente um "domínio efetivo", geralmente mais extenso, que compreende todas as condições susceptíveis de deslanchar sua ativação. As culturas humanas inventam os artefatos que entram no envelope desse domínio efetivo.

Consideremos o exemplo do reconhecimento dos rostos. É uma competência de que todos nós somos providos desde a mais tenra infância, e à qual estão associados os circuitos especializados da via visual ventral, qualificados por alguns de "módulo dos rostos[7]". Por hipótese, o "domínio próprio" desse módulo é constituído por rostos de nossos congêneres. Mas nosso dispositivo de reconhecimento dos rostos dispara igualmente diante de muitas outras condições além do encontro com um rosto em carne e osso: quando reconhecemos uma estátua, ou uma fotografia; quando cremos identificar a face de Cristo nas manchas sobre a neve; quando certos astrônomos creem ver a gigantesca escultura de um rosto humano no planeta Marte (em realidade, a sombra de uma montanha); ou mais banalmente, quando trocamos *smiles* e outras emoções (☺) popularizadas pela rede da Internet. Conforme Sperber, todos esses estímulos, naturais ou artificiais, fazem parte do domínio efetivo de nosso módulo hipotético de reconhecimento dos rostos.

Para Sperber, essa decalagem entre o domínio efetivo e o domínio próprio de nossos módulos engendra um espaço de criatividade que todas as culturas humanas exploram. A fim de chamar a atenção de seus congêneres, os humanos inventam objetos culturais cujo único fim é excitar, de uma maneira inesperada, os módulos do cérebro. Assim, uma espécie de jogo cultural, à margem de nosso módulo de reconhecimento

dos rostos, explicaria a propensão universal das culturas humanas a criar retratos, estátuas, caricaturas, máscaras, maquilagens ou tatuagens. Com frequência, esses artefatos culturais exageram os traços do rosto até constituir o que os etólogos denominam os "hiperestímulos", que hiperativam o módulo mais ainda que um rosto normal. Compreende-se então melhor a eficácia de sua propagação cultural.

RECICLAGEM NEURONAL E PROCESSADORES CEREBRAIS

Um parentesco evidente e mesmo certa complementaridade ligam a ideia sperberiana de uma decalagem entre domínios e minha hipótese da reciclagem neuronal. Os dois modelos visualizam como o objeto cultural, embora não tenha podido ser antecipado pela evolução, acaba por encontrar seu lugar no seio de nossa arquitetura cerebral, na medida em que ele faz parte do repertório extenso das formas mentais acessíveis, à margem das condições normais de funcionamento de nossos circuitos cerebrais.

Contudo, o mecanismo ao qual Dan Sperber atribui a origem dos principais universais culturais não confere, talvez, todo o lugar que deveria à aprendizagem e à plasticidade cerebral. Mesmo se Sperber descreva os módulos como "instintos de aprender", como máquinas de adquirir conhecimentos, ele postula igualmente que seu domínio de aprendizagem é restrito. Desta rigidez mesma depende a explicação dos caracteres universais das culturas humanas: pela hipótese, todos os homens e todas as mulheres dispõem da mesma lista de módulos, fixada uma vez por todas no curso da evolução do cérebro humano.

A visão da cultura que daí emerge poderia parecer redutora para alguns: as culturas humanas se caracterizariam simplesmente pela lista, mais ou menos diversificada, das astúcias que elas descobririam para estimular um ou vários módulos cerebrais pré-estabelecidos. Ora, o exemplo da leitura sugere que a invenção cultural vá muito além. A invenção da leitura não consistiu somente em descobrir uma forma original de estimular as áreas de reconhecimento visual dos objetos. Ao inventar a leitura, nossas sociedades criaram as condições de uma autêntica "revolução cultural", concebendo uma extensão radical das capacidades cognitivas humanas. A exposição, desde bem cedo, do cérebro da criança à leitura, no momento em que ele é mais facilmente modificável, facilita essa mudança profunda que vai muito além do simples redirecionar das entradas num módulo cerebral.

Não me agrada muito, por sinal, esse termo "módulo", que encerra as funções cerebrais em gavetas fixas que se imaginam bem nítidas e que pavimentariam a superfície do cérebro. A realidade cortical é bem mais flexível. Jean-Pierre Changeux sublinhou a explosão do número de sinapses que sobrevêm nos primeiros anos de vida e abrem um imenso espaço de redundância e de plasticidade. Os circuitos anatômicos, embora organizados desde o nascimento, não são especificados nos mínimos detalhes. São verdadeiramente dedicados a este ou àquele domínio, ou somente um viés para facilitar a aprendizagem? Ocorre sempre, durante este período de exuberante diversidade sináptica da primeira infância, que a fusão das conexões seja tal que um circuito que evoluiu sob a pressão seletiva de um determinante cognitivo pode se converter a uma função toda outra.

Parece-me, pois, que o mecanismo de reciclagem neuronal, posto em evidência no domínio da leitura, enriquece e completa o de Sperber. Os contornos dos processos cerebrais, longe de formar fronteiras rígidas, dispõem de uma margem de plasticidade. Sua função pode mudar, particularmente quando as culturas conseguem jogar com a exposição precoce do cérebro da criança a objetos culturais. O espaço da diversidade cultural que assim se abre é mais vasto do que deixaria pensar a hipótese de uma lista fixa de módulos.

Acrescento que, se o jogo cultural com o rosto, a tatuagem ou a máscara se impõe como uma evidência aos povos do mundo inteiro, outras invenções culturais, como a leitura, são muito mais difíceis de acesso. Mesmo se todas pertencerem, por definição, ao envelope das representações que a variabilidade de nossos circuitos cerebrais permite aprender, alguns objetos do pensamento se distinguem por uma complexidade superior que necessita um ensino precoce e traduz verossimilmente a intensidade das modificações sinápticas que eles requerem. Penso na leitura, bem entendido, mas também na matemática ou na música, que são invenções recentes e cuja profundidade varia grandemente de uma cultura a outra. Os nichos neuronais de nossos objetos culturais não parecem todos eles igualmente acessíveis: alguns não se abrem senão depois da transposição de etapas intermediárias na aculturação de nossas redes cerebrais.

EM DIREÇÃO A UMA LISTA DE INVARIÂNCIAS CULTURAIS

Ambiciosos programas de pesquisa tentam no momento explicar os traços mais salientes das culturas humanas (música, religião, artes, matemática, ciências...), pesquisando a quais módulos cerebrais fazem apelo e como evoluíram no plano filogenético e epigenético. Um rápido panorama faz aparecerem vários domínios nos quais essas pesquisas conduziram a alguns avanços significativos.

Ciências naturais

A classificação e o estudo das plantas e dos animais são uma preocupação comum a todas as culturas[8]. Scott Atran e Dan Sperber põem em relação esse gosto pela taxonomia com um hipotético módulo de "biologia popular" (*folk biology*) especializado no conhecimento dos seres vivos. Ele jogaria um papel essencial na alimentação, na saúde e na integração de uma espécie com seu meio ecológico. A psicologia do desenvolvimento, a imagem cerebral e a neuropsicologia começam efetivamente a por em evidência uma especialização cerebral para a categoria dos seres vivos, que pode ser alvo de lesões específicas e parece se instalar muito precocemente na criança pequena[9].

Matemática

Meu laboratório, com outros, estuda como os mais simples dos objetos matemáticos se ancoram no cérebro[10]. Tanto no domínio da aritmética quanto no da geometria, todas as culturas partilham uma base mínima de conceitos abstratos que encontramos precocemente na criança, na ausência de educação e mesmo de palavras para exprimi-los. Tomemos o exemplo do conceito de número. Até uma criança pequena amazonense, cuja língua mundurucu não possui palavras para números acima de 5, compreende a diferença entre dois conjuntos de vinte e 40 pontos, sabe ordená-los e mesmo combiná-los em adições e subtrações aproximativas[11]. Essas competências para a aritmética elementar se relacionam com os lobos parietais dos dois hemisférios que abrigam uma região sensível ao número de objetos, presentes na retina. Sabe-se hoje que uma região homóloga existe no macaco, onde são encontrados neurônios especializados para o número[12].

Assim, a pesquisa dá corpo à ideia de uma universalidade da matemática, cujos fundamentos últimos se encontrariam nas representações

mentais estruturadas que herdamos de nossa evolução – o senso do número, do espaço, do tempo, etc. – e que aprendemos a recombinar e a etiquetar pelo viés dos símbolos falados e escritos.

Criação artística

Por que todas as culturas produzem obras de arte, uma atividade dispendiosa cuja utilidade prática parece sem importância? Nos seus livros e seus cursos de "neuroestética", no *Collège de France* (2003-2005), Jean-Pierre Changeux propôs uma interpretação neuronal da arte, interessando-se particularmente pela pintura e pela música[13]. Para ele, a diversidade das representações mentais, que nosso cérebro abriga, "síntese de evoluções múltiplas", explicaria as múltiplas ressonâncias emocionais que evoca a obra de arte. Ela explode em múltiplas áreas cerebrais, nas quais cada uma trata de um atributo da composição: cores, texturas, rostos, mãos, expressões dos personagens... A obra de qualidade é original quando estimula múltiplos processadores cerebrais de um modo novo e harmonioso.

Ideias semelhantes se encontram sob a pluma do neurólogo americano V. S. Ramachandran, para quem "o objetivo da arte não é descrever ou representar a realidade [...] mas o de elevá-la, de transcendê-la, ou mesmo de deformá-la [...], de ampliá-la para que ela ative mais fortemente os mesmos mecanismos neurais que são solicitados pelo objeto original[14]". Para o neurofisiologista britânico Semir Zeki, "os artistas são, num sentido, neurólogos que estudam o cérebro com técnicas que lhes são próprias[15]". De acordo com ele, o fovismo explora as fronteiras da arte da cor (V4), a arte cinética, a do movimento (V5)... mas o artista dotado esconde em sua obra uma multiplicidade de interpretações que renova sem cessar o prazer do espectador.

Jean-Pierre Changeux vai mais longe. Para ele, a obra-prima não deve, apenas, contatar múltiplas representações mentais, mas, igualmente, propor uma síntese harmoniosa. Não basta "hiperestimular" o espectador com cores berrantes, com um movimento hipnotizador ou com imagens chocantes para realizar uma obra de arte eterna, mesmo se esta descrição pareça corresponder a certas tendências da arte contemporânea! As bases neurais da "coerência das partes com o todo" esse *consensus partium* que Changeux coloca no coração da criação artística, começam a ser estudadas no domínio musical[16]. As harmonias de oitava e de quinta constituem universais culturais já presentes no bebê. Elas se explicariam ao nível da área auditiva primária pela coerência da atividade neuronal de alta amplitude que evocam os acordes consoantes, enquanto os acordes dissonantes produzem batimentos desagradáveis de fase. Por extensão, a harmonia de uma pintura se refletiria na sincronia das áreas cerebrais distribuídas que ela solicita? Ainda não dispomos de uma resposta: a neuroestética permanece, no momento, um campo balbuciante e controverso das neurociências.

Religião

O que é a propensão universal das sociedades humanas a se atribuírem uma religião? O fato religioso esboça igualmente suas origens no cérebro e na evolução? Três livros recentes[17] avançam explicações cognitivas e mesmo "neuroteológicas" sobre a universalidade da religião e sobre sua estabilidade milenar.

Daniel Dennet populariza a explicação "memética" de Richard Dawkins. Nossa capacidade de transmissão cultural, pela linguagem e pela imitação, implicaria a aparição inevitável de representações mentais parasitas, dos "memes" que não são vantajosos para seu anfitrião, mas cuja característica principal é a de facilitar sua própria propagação. As religiões não seriam nada mais que conjuntos autoreprodutores de representações mentais, cujo conteúdo mesmo estipula aos fiéis que seria sacrilégio propagá-las com discussão e a não ser com alta... fidelidade.

Retomando esta noção de uma epidemia mental, Pascal Boyer assim precisa os mecanismos cognitivos: as religiões tornariam parasitas nossos módulos cognitivos de inteligência social, de senso moral e de inferência causal (os que nos fazem inferir a intervenção de um agente consciente quando o comportamento dos objetos nos parece autônomo ou dirigido a um fim).

Scott Atran, enfim, tenta compreender por que o sobrenatural apresenta um atrativo singular para a espécie humana. Para ele, as criaturas sobrenaturais – ancestrais invisíveis, árvores pensantes, objetos maléficos, lugares encantados, etc. – apresentam a particularidade de entrar no campo de nossas categorias mentais naturais (congêneres, animais, objetos, lugares) todas violando uma de suas regras elementares. É a decalagem

que explicaria que nos agrade tanto propagar esses objetos de pensamento puramente imaginários. Eles constituiriam, para nosso cérebro, hiperestímulos particularmente eficazes: tal como Janus, sua face normal lhes permitiria ser bem introduzidos no seio de um de nossos módulos mentais, enquanto sua face insólita (invisibilidade, poderes mágicos) atrairia a atenção e os tornaria mais memoráveis. Do mesmo modo como a arte cinética, conforme Zeki, o sobrenatural nos fascina porque estimula nossas áreas cerebrais do movimento, de uma forma inédita e produz um efeito semelhante ao jogo de espelhos sobre nossas representações cerebrais mais abstratas dos lugares, dos objetos, dos animais ou dos homens.

Todas essas explicações evolucionistas soam com frequência justas e apresentam o interesse de relacionar a arte e a religião a fenômenos cognitivos normais, que podemos doravante estudar por métodos usuais da psicologia e da antropologia cognitiva. Não posso, contudo, impedir-me de considerá-las como certo mau-gosto as *Histórias Sobrenaturais* de Rudyard Kipling, que nos explicam com fantasia por que o elefante tem uma tromba e como o tigre adquiriu suas listras. Como as histórias de Kipling, essas explicações fazem apelo a mecanismos especulativos que permanecem, por enquanto, inverificáveis. A neuroestética e a neuroteologia parecem-nos ainda, muitas vezes, não mais que petições de princípio. Em contraste, o interesse todo da leitura é o de se prestar a uma dissecação rigorosa de seus mecanismos neuronais, no seio de circuitos identificáveis e reproduzíveis.

A INTRIGANTE AUSÊNCIA DE CULTURA ANIMAL

A hipótese de que cada um dos grandes traços das culturas humanas se relaciona, em última análise, a algum módulo cerebral herdado de nosso passado evolutivo se choca com uma objeção elementar. Se compartilharmos a maior parte, senão todos esses módulos com outros primatas, como explicar que nossa espécie seja a única a ter conhecido uma explosão cultural há algumas dezenas de milhares de anos? A despeito de debates recentes sobre a extensão das culturas animais, é incontestável que o *Homo sapiens* apresenta, nesse domínio, uma autêntica singularidade. No chimpanzé, decênios de observações etológicas não revelaram mais do que 39 traços culturais autênticos, isto é, comportamentos que variam de um grupo a outro, no seio da mesma espécie,

são transmitidos através de gerações e não são impostos pela ecologia local[18]. Os defensores da cultura do chimpanzé creem triunfar, quando demonstram que não é senão em quatro lugares estudados sobre sete que os chimpanzés esfregam as mãos a fim de chamar a atenção para terem seus piolhos catados ou que só os chimpanzés de Mahale na Tanzânia sonham em coçar o nariz com um bastão!

Não se trata de negar o interesse dessas observações, que atenuam a singularidade humana e tentam ligá-la a fenômenos de transmissão inconsciente ou de imitação já presentes no animal. Contudo, a raridade e a pobreza de conteúdo das culturas animais oferecem um vivo contraste com a imensa lista de tradições culturais que o menor grupo humano, mesmo de tamanho muito pequeno, desenvolve espontaneamente.

O caso das artes gráficas é edificante. Não se conhece praticamente nenhuma sociedade humana que não pratique o desenho ou a gravura. Essas artes eram já dominadas num alto grau de perfeição por nossos ancestrais do paleolítico superior, ou seja, ao menos há 35.000 anos. Em grande número de culturas – esquimós, índios das planícies –, esses desenhos adquiriram uma forma simbólica, em especial, para denotar os números e, em ao menos quatro lugares distintos (Suméria, Egito, China e América Central), uma escrita autêntica apareceu. Ao contrário, nenhuma espécie de macaco grande inventou espontaneamente a representação pictórica.

Esta surpreendente ausência de invenção gráfica nos primatas não humanos não parece ligada a um determinante visual ou motriz. Desde a idade de 1 ano, um chimpanzé pequeno colocado diante de tabuleta gráfica consegue produzir pontos, traços e curvas[19] (Figura 8.1). Conforme o autor dessas experiências, Tetsuro Matsuzawa, os chimpanzés possuem mesmo uma "motivação intrínseca para o desenho". Quando a tabuleta gráfica é programada para não deixar traços na tela, eles cessam de utilizá-la, o que parece indicar que "as marcas gráficas possuem certo valor de reforço para eles". Por que, então, colocados em presença de material de desenho ou de pintura, os chimpanzés não desenvolvem outra coisa senão coleções de manchas coloridas que, sem serem inteiramente aleatórias, não parecem ser dirigidas a um fim? Como explicar esta imensa distância que nos separa de nossos primos tão próximos se, por hipótese, a invenção cultural emergir de uma conversão de dispositivos cerebrais que a espécie humana compartilhe, na sua maior parte, com as outras espécies dos primatas?

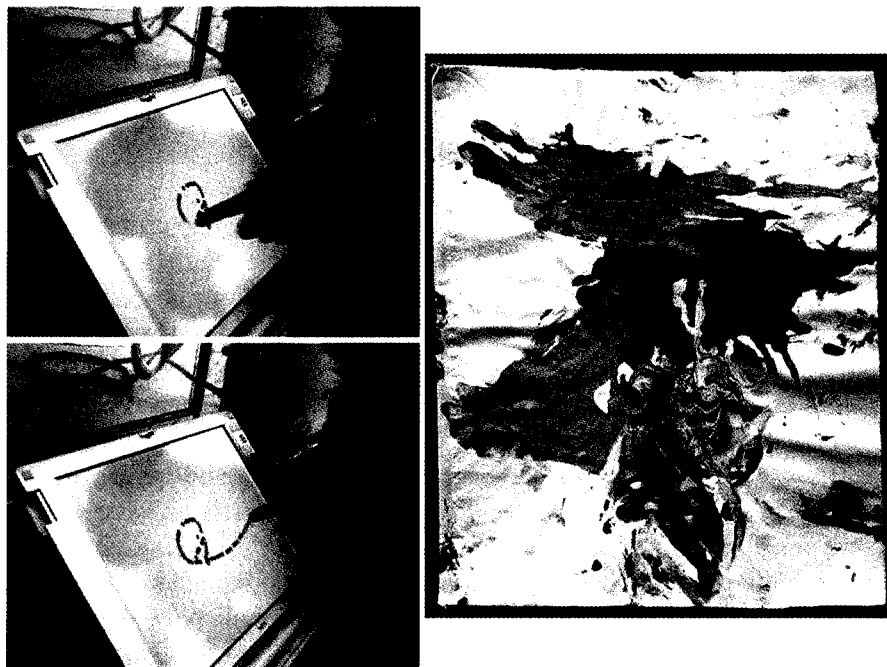



Figura 8.1 Nos primatas não humanos, a produção escrita e gráfica permanece mínima. Um chimpanzé jovem, desde os 15 meses, pode aprender a controlar uma tabuleta gráfica para aí traçar algumas curvas (à esquerda, cf. Tanaka et al., 2003). A "composição", à direita, foi produzida por um chimpanzé adulto, vivendo em semi-liberdade, na reserva florestal de Mefu, na República do Camarão, a quem foram alcançados pincéis e guache (*Canadian Ape Alliance*).

PLASTICIDADE E NEOTENIA

Várias soluções para esta questão foram pensadas. Os módulos do cérebro humano apresentariam uma plasticidade ou uma capacidade de reciclagem das quais nossos primos chimpanzés seriam desprovidos? É inegável que um dos traços salientes do *Homo sapiens*, que o distinguem dos outros primatas e mesmo do *Homo erectus*, é o de nascer com um cérebro imaturo e dotado de uma grande plasticidade[20]. Em relação aos outros animais, o bebê humano vem ao mundo numa etapa proporcionalmente bem precoce da gestação. Sua maturação sináptica se prolonga igualmente sobre um período extenso de vários anos.

Contudo, se é provável que esta plasticidade prolongada contribua para a adaptabilidade de nossa espécie, duvido que ela jogue um papel dominante em nossa capacidade de invenção cultural. Com efeito, não é a capacidade de reciclagem neuronal, em si, que parece faltar a nossos primos primatas, mas, sobretudo, a capacidade de inventar novos objetos culturais. As numerosas experiências sublinham que as redes cerebrais dos primatas são capazes de aprendizagem e às vezes mesmo de uma reconversão radical.

Desejam alguns exemplos? No decorrer de nosso percurso, citei os trabalhos de Nikos Lothetis e de Yasushi Miyashita que demonstraram que mesmo os macacos podem aprender a reconhecer formas arbitrárias de curvas e de fractais. Depois da aprendizagem, o registro das células de seu córtex temporal inferior mostrou que esses neurônios se haviam convertido radicalmente e, sem dificuldade aparente, para se especializar no reconhecimento dessas imagens novas[21]. Outros pesquisadores chegaram mais longe: eles ensinaram vários chimpanzés e mesmo macacos a reconhecerem formas de algarismos arábicos, a ponto de saberem ordená-los, muito rapidamente, ou associá-los a quantidades correspondentes[22].

No plano motor, igualmente, o macaco apresenta uma capacidade notável de adaptação aos utensílios. Atsushi Iriki e seus colegas da Universidade de Tóquio demonstraram que um macaco aprende facilmente a se servir de um ancinho a fim de manipular objetos distantes – e isso, sem retorno visual direto, mas simplesmente vendo os efeitos de seus gestos sobre uma tela do computador[23]. Esta aprendizagem parece ligada a uma pequena região parietal anterior que poderia ser a precursora das regiões humanas, implicadas na programação dos gestos complexos, aí compreendidos os da escrita. Nesta região, aprender a manipular utensílios modifica os campos receptores dos neurônios, a expressão dos genes ligados a fatores neurotróficos, e mesmo as conexões provenientes das áreas corticais posteriores.

Se um macaco pode assim aprender o uso de símbolos e de utensílios, isso não ocorre por razões ligadas a uma menor plasticidade cerebral e sim à inovação cultural que falta aos primatas não humanos. O que lhes falta, com toda a evidência, não é sua capacidade de aprender, mas, sobretudo, a de inventar e de transmitir os objetos culturais novos.

UMA SENSIBILIDADE AO ESPÍRITO DO OUTRO

Outra hipótese foi proposta: só o cérebro humano seria "pré-adaptado" para a transmissão cultural. Michael Tomasello sustenta explicitamente esse ponto de vista:

> Os humanos são biologicamente adaptados à cultura de uma forma distinta de todos os outros animais. A diferença é manifesta quando se comparam as competências de aprendizagem social dos humanos com a de seus primos primatas mais próximos. No curso da ontogênese, a adaptação humana à cultura se manifesta ao redor de 1 ano, idade na qual as crianças humanas começam a compreender que as outras pessoas são agentes intencionais, assim como eles. É esta compreensão que lhes dá acesso a formas únicas e poderosas de aprendizagem cultural, porque elas leem as intenções dos outros à medida que deles aprendem[24].

Conforme Tomasello, a transmissão cultural é, pois, que faz a singularidade da espécie humana. Ela estaria ligada à expansão de um módulo cerebral especializado na "teoria do espírito", a representação mental das intenções e das crenças de nossos congêneres. Esse módulo cerebral teria um impacto triplamente positivo sobre a propagação cultural. Em primeiro lugar, os adultos conseguiriam se representar os conhecimentos de seus filhos, o que os motivaria a transmitir as informações ou as técnicas novas e a inventar verdadeiras estratégias pedagógicas – para o primatólogo David Premack, a pedagogia é própria do homem. Por seu turno, as crianças prestariam atenção às intenções dos adultos. Elas não se contentariam em imitar servilmente suas ações, mas o fariam com plena compreensão da finalidade buscada[25]. Enfim, a "teoria do espírito" permitiria a cada membro da espécie humana representar-se a si mesmo, a prestar atenção a seus próprios estados mentais e, portanto, a manipulá-los pelo viés das invenções culturais novas.

Dezenas de experiências mostram, com efeito, que, muito cedo, as crianças humanas apresentam uma notável sensibilidade às intenções comunicativas das pessoas que as cercam e uma capacidade de com elas se identificarem. Esse partilhar de intenções joga um papel fundamental na aprendizagem dos símbolos da linguagem verbal[26]. Contrariamente a uma visão behaviorista ainda muito espalhada, as crianças não aprendem as palavras por simples associação repetida com os objetos correspondentes. Quando elas escutam um adulto pronunciar uma palavra, elas começam a dirigir o olhar a fim de verificar qual a coisa à qual a pessoa se refere. É só quando elas compreenderam no que pensa o locutor – levando em conta os indícios que ele possa fornecer sobre sua competência e conhecimentos – que elas conferem um sentido às palavras. Assim, nenhuma aprendizagem será observada se um alto-falante, fixado ao teto, se contentar em repetir uma palavra em associação fixa com a apresentação de um objeto.

Conforme Tomasello, esta sensibilidade humana ao estado de espírito do outro não resulta de uma mutação súbita. As premissas da representação das intenções, das crenças e dos fins estão já presentes na linha dos grandes primatas. Elas são, contudo, amplificadas na espécie humana e são acompanhadas por uma motivação particular em compartilhar as emoções e as atividades das outras pessoas. Nada de tudo isto determina, no senso estrito, a emergência da cultura humana. Mas produz, num momento dado, um efeito de "gatilho cultural": toda invenção nova se transmite mais rapidamente ao grupo social. A transmissão pela imitação inteligente e pela pedagogia ativa estabiliza as representações culturais para além das gerações, tornando possível uma acumulação progressiva de invenções.

Parece-me, no entanto, que a hipótese de Tomasello não explica senão pela metade o extraordinário desenvolvimento da esfera cultural no homem. Ela dá bem conta de sua expansão rápida, de sua propagação quase epidêmica a partir de um lar local, e do caráter estável, ou mesmo irreversível de nossas mais belas invenções culturais: citemos, a esmo, o fogo, a agricultura, a pecuária, a cidade, a escrita, o monoteísmo, etc. Mas ela não diz nada sobre o lampejo inicial que produziu a invenção. Claro, a espécie humana propaga e estabiliza a cultura. Mas ela é igualmente a única a criar, com uma inventividade única no mundo animal, e é o que percebemos no jogo de não importa seja qual for a criança de 3 anos. Não será necessário, para explicá-lo, postular outra mudança biológica maior: o crescimento maciço no homem da capacidade de síntese e de recombinação consciente?

O FORO INTERIOR

Quando comparamos a anatomia do cérebro do homem com o de outros primatas, os primeiros hominídeos ou mesmo com o homem de Neanderthal, um traço saliente de nossa espécie é a expansão desproporcional do lobo frontal. A superfície desta região anterior dos hemisférios cerebrais com a das regiões parietais é 20 a 40 vezes maior no homem do que no macaco[27].

A mais notável das adaptações humanas é a expansão dos feixes de conexões que formam a substância branca subjacente ao córtex frontal[28]. Certos feixes a uma distância muito longa, como os que ligam diretamente o polo occipital ao córtex pré-frontal inferior, parecem mesmo

não existir senão no homem (Figura 8.2). Os neurônios piramidais do córtex pré-frontal humano apresentam nítidas adaptações a este crescimento da conectividade: suas arborizações são mais densas e os contatos sinápticos volumosamente mais numerosos[29]. Pareceria mesmo que uma categoria particular de neurônios não existe senão nos grandes macacos antropoides, dentre os quais o *Homo sapiens*[30]. Essas células, chamadas de "fusiformes gigantes", situam-se no córtex cingular e estabelecem laços a enormes distâncias com o resto do córtex.

Essas mudanças de conectividade são acompanhadas certamente de modificações funcionais. Ao que servem todas essas conexões em direção ao lobo frontal? Jean-Pierre Changeux e eu propusemos uma hipótese simples: elas reuniriam, num espaço de trabalho cortical comum, as informações provindas das regiões cerebrais distantes para melhor difundir, em seguida, à escala de todo cérebro.

Para além da modularidade do córtex, que se subdivide em múltiplos territórios especializados, a espécie humana disporia de um sistema evoluído de conexões transversais que aumenta a comunicação e quebra a modularidade cerebral. Suas funções? Reunir, confrontar, recombinar, sintetizar; evitar o fracionamento dos conhecimentos; permitir que nosso comportamento futuro seja guiado pelo conjunto das informações disponíveis, presentes ou passadas. O lobo frontal, em conexão com as múltiplas áreas cerebrais associativas do córtex cingular e dos lobos parietais e temporais, forneceria um espaço de deliberação interna, informado pelo conjunto de nossas percepções e de nossas lembranças, mas não subordinado às contingências sensório-motrizes imediatas e voltado para o futuro.

O que denominamos a consciência seria, muito simplesmente, o acesso das informações a este espaço de compartilhamento mental.

A associação do lobo frontal com as mais altas funções intelectuais não é evidentemente nova. Nos últimos trinta anos, numerosos são os fisiologistas (notadamente Patrícia Goldman-Rakic ou Joaquim Fuster) e neuropsicólogos (o russo Alexander Luria, o francês François Lhermitte, o inglês Tim Shallice) que o haviam notado. Eles observaram que as lesões frontais, sem afetar os comportamentos elementares ou automatizados, acarretam distúrbios de organização do pensamento e de integração da ação em direção a um fim. Um século antes, as experiências pioneiras de Leonardo Bianchi, no animal e no homem, haviam-no já conduzido a ver no lobo frontal um "órgão de sínteses mentais" que permite a fusão das modalidades auditivas e visuais e, no homem, a conexão com a compreensão e a produção da linguagem[31].

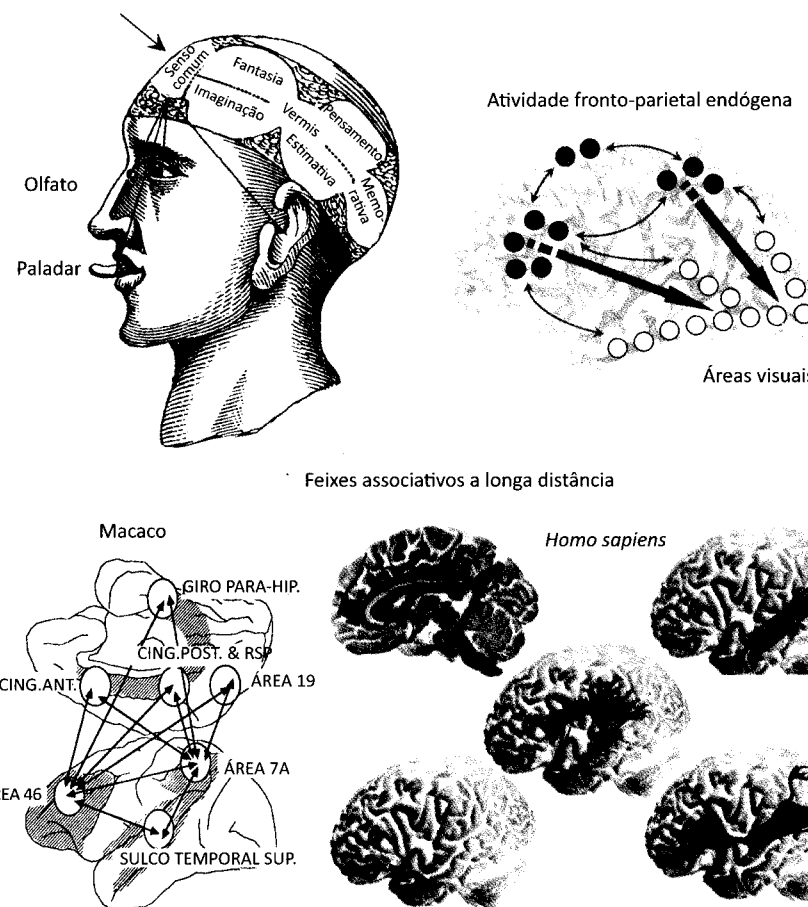



Figura 8.2 A leitura não é senão um exemplo da extraordinária inventividade da espécie humana, a única que consegue reutilizar seus circuitos corticais para atividades culturais novas. A ideia aristotélica de um "senso comum" cuja fusão dos cinco sentidos está associada à imaginação e à invenção encontra eco na descoberta de vastos feixes de conexões, particularmente desenvolvidos no homem que se reúnem e recombinam de modo flexível com as informações provindas das diferentes áreas cerebrais. Essas redes são a sede de uma incessante atividade espontânea endógena. Jean-Pierre Changeux e eu postulamos que o reencontro entre esta atividade espontânea e as entradas sensoriais está associado à tomada de consciência do mundo exterior, e que ela permite, igualmente, a exploração e a invenção no seio de um "meio consciente" interior.

Se recuarmos mais longe ainda, é a Aristóteles e a Galiano que devemos a hipótese de um *sensus communis*, um tribunal íntimo da consciência, onde reunimos nossas impressões e nossos pensamentos. Rendemos, implicitamente, homenagem a Aristóteles, quando falamos de nosso

"foro íntimo", isto é, do foro mental onde nossas ideias dialogam e se entrechocam. Avicena, nos anos mil, localizava essas competências nas regiões frontais do cérebro, embora as situasse em cavidades ou ventrículos mais que num envelope de matéria cinzenta:

> Uma das faculdades animais da percepção interna é a capacidade de imaginação ou *senso comum*, localizado na parte anterior do ventrículo frontal do cérebro. Este recebe todas as formas que se imprimem sobre os cinco sentidos e lhe são transmitidas. A seguir, vem a faculdade da representação, localizada na parte atrás do ventrículo frontal, que preserva o que o senso comum recebeu, mesmo na ausência do objeto percebido. [...] Em seguida vem a faculdade da "imaginação sensível", ligada à alma animal, e da "imaginação racional", ligada com a alma humana e localizada no ventrículo médio[32].

Avicena asssocia, já, três propriedades que ele supõe presentes no animal, mas estendidas no homem: a *síntese* dos cinco sentidos; a *memória* que mantém esta síntese "*em linha*"; e a *imaginação*, que permite enriquecer a percepção e, acoplada à razão, projetar soluções novas para atingir um fim. Com uma curiosa presciência, ele antecipa as três descobertas maiores da neurociência do lobo frontal:

- as células do córtex pré-frontal são efetivamente multimodais. De uma experiência a outra, descobrimo-las capazes de reunir todas as informações pertinentes num instante dado, sejam elas auditivas, visuais, táteis ou motrizes;
- por outro lado, elas apresentam uma notável capacidade de permanecer em atividade, mesmo depois do desaparecimento do objeto percebido, com a condição de sua lembrança oferecer uma utilidade de curto prazo. A memória de trabalho de curto prazo repousaria sobre a atividade sustentada pelos neurônios pré-frontais;
- enfim, e se trata de uma descoberta recente da imagem cerebral, as regiões pré-frontais apresentam uma atividade espontânea e flutuante que é tentador associar ao fluxo da consciência e à imaginação[33]. Quando um voluntário se submete a um exame de imagem, em repouso, sem que nada lhe seja solicitado, a atividade cortical não fica nula, mas oscila sem cessar entre estados coordenados parcialmente aleatórios[34]. De um momento a outro, setores diferentes do córtex frontal iluminam-se, estreitamente associados a territórios distantes dos lobos parietais, temporais ou occipitais. A ativação endógena dessas redes caracteriza o estado de vigília consciente no homem: ela não desaparece senão durante o sono profundo, a anestesia ou o coma[35].

Resumamos. O cérebro humano parece ter conhecido uma evolução particular. Uma vasta rede de conexões, implicando particularmente o córtex pré-frontal, cresceu maciçamente no curso da evolução desse primata singular, que é o *Homo sapiens*. Ela permite a confrontação das informações provindas de múltiplos módulos e sua ativação à vontade, com uma margem de flutuação. Emito a hipótese de que a existência dessa rede, o aparecimento de uma consciência reflexiva e a competência cultural da espécie humana são fenômenos estreitamente ligados.

Ao longo desse livro, não fiz senão propor uma ideia: a de que nossas invenções culturais, como a leitura, resultam de uma reviravolta nas funções cerebrais preexistentes. A atividade espontânea e flutuante do córtex frontal fornece um mecanismo neuronal a esta teoria da reciclagem. Formulo a hipótese de que é graças a esta nova rede de conexões que nossa espécie, a única entre os primatas, consegue jogar mentalmente com as ideias até girá-las em direção a usos imprevistos.

Graças ao espaço de trabalho neuronal, podemos levar à consciência uma infinidade de ideias e recombiná-las em novas sínteses. A atividade espontânea do córtex frontal explora em permanência as diversas possibilidades de aproximação entre os conteúdos dos processadores cerebrais. Dessas amálgamas neuronais flutuantes emerge talvez a competência particular de nossa espécie para a invenção de novos objetos culturais. Esta atividade, para ser flutuante, não navega inteiramente ao azar. À escala individual como à da sociedade, selecionamos as combinações de ideias mais interessantes, mais úteis, ou, às vezes, simplesmente mais chocantes ou mais contagiosas. O córtex pré-frontal dorsolateral recebe, aliás, projeções privilegiadas dos circuitos de avaliação e de reforço associados notadamente à via dopaminérgica ascendente e ao córtex cingular e órbito-frontal.

O leitor atento encontrará na hipótese de uma exploração dos circuitos corticais pelo córtex perifrontal, uma reminiscência da ideia de Sperber, segundo quem, todas as culturas humanas jogam com a margem de variabilidade de seus módulos cerebrais. Contudo, a função de síntese combinatória enriquece consideravelmente o modelo de Sperber. A rede de conexões a longa distância que culmina no *Homo sapiens* permite a confrontação de módulos cerebrais que, em sua ausência, não se comunicariam. Estou convencido de que as invenções culturais nascem com

"foro íntimo", isto é, do foro mental onde nossas ideias dialogam e se entrechocam. Avicena, nos anos mil, localizava essas competências nas regiões frontais do cérebro, embora as situasse em cavidades ou ventrículos mais que num envelope de matéria cinzenta:

> Uma das faculdades animais da percepção interna é a capacidade de imaginação ou *senso comum*, localizado na parte anterior do ventrículo frontal do cérebro. Este recebe todas as formas que se imprimem sobre os cinco sentidos e lhe são transmitidas. A seguir, vem a faculdade da representação, localizada na parte atrás do ventrículo frontal, que preserva o que o senso comum recebeu, mesmo na ausência do objeto percebido. [...] Em seguida vem a faculdade da "imaginação sensível", ligada à alma animal, e da "imaginação racional", ligada com a alma humana e localizada no ventrículo médio[32].

Avicena asssocia, já, três propriedades que ele supõe presentes no animal, mas estendidas no homem: a *síntese* dos cinco sentidos; a *memória* que mantém esta síntese "*em linha*"; e a *imaginação*, que permite enriquecer a percepção e, acoplada à razão, projetar soluções novas para atingir um fim. Com uma curiosa presciência, ele antecipa as três descobertas maiores da neurociência do lobo frontal:

- as células do córtex pré-frontal são efetivamente multimodais. De uma experiência a outra, descobrimo-las capazes de reunir todas as informações pertinentes num instante dado, sejam elas auditivas, visuais, táteis ou motrizes;
- por outro lado, elas apresentam uma notável capacidade de permanecer em atividade, mesmo depois do desaparecimento do objeto percebido, com a condição de sua lembrança oferecer uma utilidade de curto prazo. A memória de trabalho de curto prazo repousaria sobre a atividade sustentada pelos neurônios pré-frontais;
- enfim, e se trata de uma descoberta recente da imagem cerebral, as regiões pré-frontais apresentam uma atividade espontânea e flutuante que é tentador associar ao fluxo da consciência e à imaginação[33]. Quando um voluntário se submete a um exame de imagem, em repouso, sem que nada lhe seja solicitado, a atividade cortical não fica nula, mas oscila sem cessar entre estados coordenados parcialmente aleatórios[34]. De um momento a outro, setores diferentes do córtex frontal iluminam-se, estreitamente associados a territórios distantes dos lobos parietais, temporais ou occipitais. A ativação endógena dessas redes caracteriza o estado de vigília consciente no homem: ela não desaparece senão durante o sono profundo, a anestesia ou o coma[35].

Resumamos. O cérebro humano parece ter conhecido uma evolução particular. Uma vasta rede de conexões, implicando particularmente o córtex pré-frontal, cresceu maciçamente no curso da evolução desse primata singular, que é o *Homo sapiens*. Ela permite a confrontação das informações provindas de múltiplos módulos e sua ativação à vontade, com uma margem de flutuação. Emito a hipótese de que a existência dessa rede, o aparecimento de uma consciência reflexiva e a competência cultural da espécie humana são fenômenos estreitamente ligados.

Ao longo desse livro, não fiz senão propor uma ideia: a de que nossas invenções culturais, como a leitura, resultam de uma reviravolta nas funções cerebrais preexistentes. A atividade espontânea e flutuante do córtex frontal fornece um mecanismo neuronal a esta teoria da reciclagem. Formulo a hipótese de que é graças a esta nova rede de conexões que nossa espécie, a única entre os primatas, consegue jogar mentalmente com as ideias até girá-las em direção a usos imprevistos.

Graças ao espaço de trabalho neuronal, podemos levar à consciência uma infinidade de ideias e recombiná-las em novas sínteses. A atividade espontânea do córtex frontal explora em permanência as diversas possibilidades de aproximação entre os conteúdos dos processadores cerebrais. Dessas amálgamas neuronais flutuantes emerge talvez a competência particular de nossa espécie para a invenção de novos objetos culturais. Esta atividade, para ser flutuante, não navega inteiramente ao azar. À escala individual como à da sociedade, selecionamos as combinações de ideias mais interessantes, mais úteis, ou, às vezes, simplesmente mais chocantes ou mais contagiosas. O córtex pré-frontal dorsolateral recebe, aliás, projeções privilegiadas dos circuitos de avaliação e de reforço associados notadamente à via dopaminérgica ascendente e ao córtex cingular e órbito-frontal.

O leitor atento encontrará na hipótese de uma exploração dos circuitos corticais pelo córtex perifrontal**,** uma reminiscência da ideia de Sperber, segundo quem, todas as culturas humanas jogam com a margem de variabilidade de seus módulos cerebrais. Contudo, a função de síntese combinatória enriquece consideravelmente o modelo de Sperber. A rede de conexões a longa distância que culmina no *Homo sapiens* permite a confrontação de módulos cerebrais que, em sua ausência, não se comunicariam. Estou convencido de que as invenções culturais nascem com

frequência de tais metáforas ou de colocações novas em ligação[36]. A invenção da leitura, em particular, não corresponde apenas à criação de um jogo de signos que estimulam de maneira eficaz nosso córtex visual. Ela é acima de tudo a colocação em conexão desses signos com as áreas auditivas, fonológicas e lexicais responsáveis pela compreensão da linguagem verbal. Se a ideia desta conexão não aconteceu com os outros grandes macacos é talvez porque a arquitetura de seu cérebro, ao contrário da nossa, não permite colocar à prova esta combinação nova.

Numerosos pesquisadores chegaram, por vias muito diferentes, à mesma conclusão: nossa espécie apresenta competências particulares para a síntese dos conteúdos que, nos outros mamíferos, permanecem dispersas em múltiplas regiões especializadas do cérebro. Assim, Elizabeth Spelki, psicóloga na Universidade de Harvard, estuda o senso do espaço na criança. Seus trabalhos sugerem que antes dos 5 ou 6 anos, as competências das crianças são modulares: com seu senso da cor, elas podem codificar que um objeto está escondido ao lado da parede verde e, com seu senso da posição, que ele está no canto esquerdo da sala, mas não é senão a partir dos 6 a 8 anos que as crianças conseguem representar um conceito tal como "à esquerda da parede verde[37]". Esta capacidade de síntese de duas representações disparatadas seria dependente da linguagem verbal e singular à espécie humana[38].

Annette Karmiloff-Smith, do *Institute of Child Health* de Londres, desenvolve uma teoria aparentada, segundo a qual a criança, no curso de seu desenvolvimento cognitivo, aprende a ir "além da modularidade[39]". Uma fração de seu cérebro (talvez o córtex pré-frontal?) aprende a "re-representar", sob uma forma explícita e abstrata, os conhecimentos implícitos alojados nos módulos especializados. A aprendizagem do alfabeto fornece um excelente exemplo de tal "re-representação": desde a aquisição da linguagem verbal oral, o conhecimento dos fonemas está presente, de uma forma implícita, nas áreas da linguagem da criança, mas não é senão com a alfabetização que aparece a consciência fonêmica, isto é, a representação explícita dos fonemas e a capacidade de manipulá-los conscientemente.

No domínio da matemática, eu mesmo sublinhei como a invenção repousa sobre o estabelecimento de laços ou de metáforas entre domínios diferentes (senso do número, do espaço, do tempo[40]). No da criação artística, Jean-Pierre Changeux vê, na busca de um consenso harmonioso entre os módulos cerebrais, a essência mesma da arte; o próprio homem, nesse domínio, buscaria sem cessar novas combinações mentais. Enfim, o arqueólogo Steven Mithen chegou a uma conclusão semelhante a partir de uma perspectiva toda outra: o exame dos vestígios de utensílios que nossos antepassados deixaram e cuja complexidade progressiva acompanha a hominização. Para ele, o sucesso de nossa espécie resulta de uma mutação que teria permitido às múltiplas "capelas" de inteligência especializada de nosso espírito fusionar numa única vasta "catedral" cujos pensamentos circulam com fluidez[41].

Assim começa a se esboçar um consenso em torno de uma ideia simples: o cérebro de nossa espécie seria um especialista em recombinação mental. Ele teria evoluído a fim de explorar da melhor forma o nicho cognitivo da reciclagem neuronal. Só nossa espécie, pelo viés de seu espaço de trabalho consciente, consegue reutilizar esses módulos cerebrais, conforme os encadeamentos novos e os algoritmos inovadores. Nosso córtex pré-frontal funciona como uma máquina de Turing humana, por certo, lenta e imperfeita, mas cujas invenções, acumuladas por transmissão cultural ao longo de milênios, ultrapassaram mil vezes as competências que nossa espécie havia herdado de sua evolução biológica. A leitura faz parte desta "nova herança" que nos compete hoje transmitir da melhor maneira às próximas gerações.

NOTAS

1 Changeux & Danchin, 1976; Chaugeux, 1983; Chaugeux & Connes, 1989; Chaugeux, 2002.
2 Chomsky, 1986.
3 Sperber, 1974.
4 Brown, 1991.
5 Sperber & Hirschfeld, 2004; vejam-se igualmente Atran, Medin & Ross, 2005.
6 Fodor, 1983.
7 Kanwisher et al., 1997.
8 Atran, 1990; Berlin, 1992.
9 Chao et al., 1999; Pouratian, Bookheimer, Rubino, Martin & Toga, 2003.
10 Dehaene, 1997; Butterworth, 1999.
11 Pica, Lemer, Izard & Dehaene, 2004; Dehaene, Izard, Pica & Spelke, 2006.
12 Nieder & Miller, 2004.
13 Chaugeux, 1994.
14 Ramachandran, 2005.
15 Zeki, 2000.
16 Wallin, Merker & Brown, 2000.
17 Atran, 2002; Boyer, 2002; Dennett, 2006.
18 Whiten et al., 1999; Byrne et al., 2004 .

19 Boysen, Berntson & Prentice, 1987; Tanaka, Tomonaga & Matsuzawa, 2003.
20 Coqueugniot, Hublin, Veillon, Houet & Jacob, 2004.
21 Logothetis et al., 1995.
22 Matsuzawa, 1985; Washburn & Rumbaugh, 1991; Kawai & Matsuzawa, 2000.
23 Iriki, 2005.
24 Tomasello, 2000b, 2000a; Tomasello, Carpenter, Call, Behne & Moll, 2005.
25 Gergely, Bekkering & Kilaly, 2002.
26 Tomasello, Strosberg & Akhtar, 1996.
27 Van Essen et al., 2001.
28 Van Essen et al., 2001; Schoenemann, Sheehan & Glotzer, 2005.
29 Elston, Benavides-Piccione & DeFelipe, 2001.
30 Nimchinsky et al., 1999.
31 Bianchi, 1921.
32 Apud Finger, 1994, p.19.
33 Dehaene & Chaugeux, 2005.
34 Raichle et al., 2001; Laufs et al., 2003; Fox, Corbetta, Snyder, Vincent & Raichle, 2006; Nir, Hasson, Levy, Yeshurun & Malach, 2006.
35 Laureys, 2005.
36 Para uma hipótese similar no domínio matemático, vejam-se Nunez & Lakoff, 2000.
37 Hermer & Spelke, 1996.
38 Vejam-se, contudo, Gouteux, Thinus-Blanc & Vauclair, 2001.
39 Karmiloff-Smith, 1992.
40 Dehaene, 1997.
41 Mithen, 1996.

Conclusão

O futuro da leitura

A escrita – a arte de comunicar os pensamentos ao espírito pelos olhos – é a grande invenção do mundo. Grande, com o surpreendente poder de análise e de combinação que ela implica, mesmo em sua acepção mais simples e mais geral; grande, muito grande ao nos permitir conversar com os mortos, com os ausentes, com aqueles não nascidos, através de todas as distâncias no tempo e no espaço; e grande, não apenas por suas vantagens imediatas, mas também pela ajuda imensa que ela aporta às outras invenções.

Abraham Lincoln

Ao término de nossa viagem cortical, a leitura aparece, ao mesmo tempo, como o fruto da evolução humana e como um dos atores maiores de sua explosão cultural. A expansão de nosso córtex pré-frontal, esta "catedral" do espírito, permitiu a nossa espécie inventar a escrita. Por seu turno, esta invenção alavancou nossas capacidades mentais, dotando-nos de uma verdadeira memória suplementar, externa e durável, que nos permite "escutar os mortos com os olhos", como o sublinhou o poeta Francisco de Quevedo, e de acordar, depois de vários séculos de distância, o pensamento dos escritores desaparecidos. Sob tal enfoque, a leitura é a primeira "prótese do espírito[1]" – uma prótese que as gerações de escribas adaptaram da melhor forma aos circuitos de nossos cérebros de primatas.

As neurociências da leitura mostram que cada cérebro de criança dispõe de circuitos neuronais capazes de aprender a ler. É a razão pela qual eu permaneço otimista, a despeito de um incessante bombardeio mediático insinuando que uma fração sempre crescente de nossos concidadãos não

sabe ler. Mesmo para uma criança disléxica, ou para o adulto analfabeto, existem soluções. A plasticidade cerebral é tal que é possível contornar as dificuldades de leitura por vias cerebrais incomuns. Estamos, contudo, apenas nos primeiros balbucios da ciência da leitura. A melhor compreensão do desenvolvimento da leitura, o aparecimento de softwares educativos e a adaptação ótima ao cérebro da criança oferecem grandes esperanças a todos aqueles para quem ler permanece uma prova.

Que bem me compreendam: não pretendo, evidentemente, que as neurociências varram logo todas as dificuldades pedagógicas nem que o computador, otimizado pelos pesquisadores cognitivos, substituirá proximamente os professores. Minha mensagem é mais modesta: um pouco de ciência não prejudica ninguém e importa que os pais e os educadores tenham uma ideia clara das mudanças que a leitura opera no cérebro da criança. Seu sistema visual e suas áreas da linguagem verbal formam uma pequena máquina neuronal magnífica que a educação recicla num sistema experto de leitura. Compreender o funcionamento íntimo não pode senão facilitar o ensino da leitura – tal é minha convicção profunda.

Não pretendo, de modo algum, que as neurociências, no final, substituirão a psicologia experimental e a pedagogia. No laboratório, são, acima de tudo, os psicólogos que definem os protocolos da imagem cerebral da leitura. Em classe, igualmente, os professores permanecem os únicos mestres a bordo. Cabe a eles inventar os exercícios, as astúcias e os jogos que permitirão despertar as crianças para a leitura. Ai elas encontrarão as dificuldades particulares que requerem um domínio pedagógico que respeito profundamente. Creio, simplesmente, que nem o psicólogo nem o professor podem se permitir ignorar os conhecimentos científicos que explicam por que o cérebro da criança é mais ou menos receptivo a este ou àquele método de leitura.

Apelo, então, com meus melhores votos, a uma unificação das pesquisas pedagógicas, psicológicas e neurocientíficas a fim de ampliar a ciência da leitura. A questão mais difícil que nos é colocada é a das condições ótimas de seu ensino – como se deverá proceder para que todas as crianças aprendam a ler sem lágrimas? A fim de responder esta questão, por que não pensar na criação de classes experimentais, a saber, laboratórios de pesquisa no meio escolar, onde seria levada a cabo uma verdadeira experimentação pedagógica? Professores e pesquisadores lado a lado, cotidianamente, imaginariam juntos novos métodos de ensino e se colocariam questões estimulantes uns aos outros. É melhor ensinar o gesto da escrita junto com o reconhecimento das letras? É útil fazer

redigir, bem cedo, pequenas frases? Ganhar-se-ia tempo em chamar a atenção das crianças sobre a cilada das letras simétricas como "b" e "d"? Ninguém pode pretender, hoje, conhecer as respostas a estas questões, mas devemos buscar juntos os métodos os mais rigorosos possíveis.

Ninguém deveria igualmente ignorar que certas questões estão firmemente resolvidas. Assim, sabe-se hoje que os métodos globais ou ideovisuais não funcionam: todas as crianças, independente de sua origem social, se beneficiam de uma aprendizagem explícita e o mais precoce possível das correspondências entre grafemas e fonemas de sua língua[2]. É um fato estabelecido, sustentado por numerosas experiências pedagógicas, coerente com nossa compreensão sobre a organização do cérebro do leitor. Voltar atrás sobre esse ponto, sob o pretexto de experimentar ou de exercer a liberdade de ensino seria criminoso.

À medida que emerge um consenso científico sobre os mecanismos da leitura, seu ensino deveria progressivamente se transformar numa autêntica "neuro-psico-pedagogia": a ciência unificada e cumulativa onde a liberdade de ensino não é negada, mas voltada para a pesquisa pragmática de um ensino melhor estruturado e mais eficaz. O conceito que exige a experimentação é uma das belas ideias que a ciência pode aportar à pedagogia. Experimentar não é de manhã ensaiar uma ideia que nos chegou durante a vigília da noite anterior. Experimentar exige, ao contrário, conceber com paciência, minúcia e levando em consideração todos os conhecimentos passados, uma manipulação nova da estratégia de ensino, que será comparada com uma situação de controle (outro dia, outro exercício, outra classe). Estou persuadido de que é possível melhorar, muito significativamente, o ensino da leitura na França. Estou igualmente persuadido de que isto demandará muito rigor e atenção, não apenas às descobertas cognitivas recentes, mas igualmente à vasta experiência prática dos professores experientes.

É frequente, enfim, atribuir uma etiqueta política às questões científicas que dizem respeito à educação. Assim, o método global foi defendido por certa esquerda em nome da liberdade da criança: somente ele lhe permitiria a construção de suas representações, no seu ritmo, sem que lhe impuséssemos o "totalitarismo" da decodificação e da ortografia. Inversamente, um reflexo infundado atribui uma etiqueta, como sendo "de direita", à tese – contudo próxima da evidência – de que a organização cerebral e o patrimônio genético limitam as aprendizagens. E não se sabe muito o bastante como os programas escolares valsam de acordo com as reformas escolares que cada novo ministro crê seu dever impor quando sobe ao poder.

Essas confusões, muitas vezes ciosamente mantidas, entre as questões científicas e as escolhas políticas alimentam polêmicas estéreis em detrimento da pesquisa da verdade, e as crianças delas são sempre as primeiras vítimas. É inaceitável que a etiquetagem tome o lugar da reflexão, ou que a intuição de um homem político substitua os conhecimentos científicos pacientemente acumulados. Restabeleçamos logo certas verdades simples sobre o ensino da leitura. Não, todas as crianças não são diferentes: seus ritmos de aprendizagem podem variar, mas todas possuem os mesmos circuitos cerebrais e todas se beneficiam de uma aprendizagem rigorosa das correspondências entre grafemas e fonemas. A escola da liberdade não é aquela que deixa a criança escolher os textos que ela deseja aprender, mas sim aquela que ensina rapidamente a cada criança a decodificar – o único método que lhe permitirá apreender por si só as palavras novas, adquirir sua autonomia e se abrir para todos os campos do saber. Este ensino pode se fazer em classes normais de 25 ou 30 alunos, com uma pedagogia e exercícios em grupo planejados, com rigor a nível nacional. Mas é necessário, bem entendido, dispor dos meios para reabilitar o mais rápido as crianças disléxicas, pelo viés de testes audiovisuais estandardizados, a fim de que elas se beneficiem com uma pedagogia reforçada por exercícios fonológicos. Enfim, a aprendizagem da decodificação não é suficiente: importa também reforçar o vocabulário da criança e ensinar-lhe a morfologia da sua língua (prefixos, sufixos, radicais das palavras), particularmente se ela provier de uma família socialmente desfavorecida ou cuja língua materna difere da vernácula.

Essas ideias, e muitas outras, desenvolvidas nesse livro, não são nem de direita nem de esquerda: elas são os primeiros frutos desta nova ciência da leitura, cujos avanços recentes eu descrevi. Melhor compreender o órgão que nos faz ler, melhor transmitir a nossas crianças esta notável invenção que é a leitura, tornar os conhecimentos úteis em grande escala, tais são os desafios do futuro. Porque releio sempre com felicidade a profissão de fé de um grande leitor, o humanista Jacques Amyot (1513-1593):

> A leitura que agrada e se aproveita, que delicia e ao mesmo tempo instrui, a tudo isto que saberemos desejar.

Referências

Obras gerais

ANDRÉ-SALVINI, B. (1999). *L'ABCdaire des écritures*. Paris: Flammarion.
BERTHIER, A. & ZALLI, A. (1997). *L'Aventure des écritures*. V. 1, *Naissances*. Paris: Bfn.
CAVALLO, G. & CHARTIER, R. (eds.) (2001). *Histoire de la lecture dans le monde occidental*. Paris: Seuil.
CALVET, L.-J. (1998). *Histoire de l'écriture*. Paris: Hachette.
CHANGEUX, J.-P. (2002). *L'Homme de vérité*. Paris: Odile Jacob.
CHANGEUX, J.-P. (ed.) (2003). *Gènes et cultures*. Paris: Odile Jacob.
COHEN, L. (2004). *L'Homme thermomètre*. Paris: Odile Jacob.
COHEN, M. & PEIGNOT, J. (2005). *Histoire et art de l'écriture*. Paris: Robert Laffont.
COULMAS, F. (1989). *The Writing Systems of the World*. Oxford: Blackwell.
CORBALLIS, M. C. & BEALE, I. L. (1976). *The Psychology of Left and Right*. New York: Erlbaum.
DANSETTE, G. & PLAZA, M. (2004). *Dyslexie*. Paris: Josette Lyon.
DeFRANCIS, J. (1989), Visible Speech: *The Diverse Oneness of Writing Systems*. Honolulu: University of Hawai.
ELLIS, A. W. (1998). *Lecture, écriture, et dyslexie*. Genève: Delachaux et Niestlé.
FERRAND, L. (2001). *Cognition et lecture. Processus de base de la reconnaissance des mots écrits chez l'adulte*. Bruxelles: De Boeck Université.
HABIB, M. (2005). *Dyslexie : le cerveau singulier*. Paris: Solal.
JEAN, G. (1987). L'Écriture : mémoire des hommes, Paris, Gallimard.
MANGUEL, A. (1998), *Une histoire de la lecture*. Paris: Actes Sud.
MILES, T. R. & MILES, E. (1999). *Dyslexia: A hundred years on*. 2nd ed., Buckingham: Open University Press.
MITHEN, S. (1996). *The Prehistory of the Mind : The Cognitive Origins of Art, Religion and Science*. Londres: Thames & Hudson.
MORAIS, J. (1994). *L'Art de lire*. Paris: Odile Jacob.
NACCACHE, L. (2006). *Le Nouvel Inconscient*. Paris: Odile Jacob.
POSNER, M. I. & RAICHLE, M. E. (1998). *L'Esprit en images*. Bruxelles: De Boeck.

RAYNE, K.; FOORMAN, B. R.; PERFETTI, C. A.; PESETSKY, D. & SEIDENBERG, M.S. (2001). How psychological science informs the teaching of reading. *Psychol. Science*, 2, 31-74.
RAYNER, K. & POLLATSEK, A. (1998). *The Psychology of reading*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
ROBINSON, A. (1995). *The Story of Writing: Alphabets, Hieroglyphs & Pictograms*. Londres: Thames & Hudson.
SHAYWITZ, S. (2003). *Overcoming Dyslexia*. New York: Random House.
SNOWLING, M. (2000), Dyslexia. Oxford, Blackwell.
SNOWLING, M. J. & HULME, C. (eds.). (2005). *The Science of Reading: A Handbook*. Oxford: Blackwell.
SPRENGER-CHAROLLES, L. & COLÉ, P. (2003). *Lecture et dyslexie*: Approche cognitive. Paris: Dunod.

Referências detalhadas

ABEL, P. L.; O'BRIEN, B. J & OLAVARRIA, J. F. (2000). Organization of callosal linkages in visual area V2 of macaque monkey. *J Comp Neurol*, 428, pp. 278-293.
AGHABABIAN, V. & NAZIR, T. A. (2000). Developing normal reading skills: aspects of the visual processes underlying word recognition. *J Exp Child Psychol*, 76(2), pp. 123-150.
AHISSAR, M. & HOCHSTEIN, S. (2004). The reverse hierarchy theory of visual perceptual learning. *Trends Cogn Sci*, 8(10), pp. 457-464.
AHISSAR, M.; PROTOPAPAS, A.; REID, M. & MERZENICH, M. M. (2000). Auditory processing parallels reading abilities in adults. *Proc Natl Acad Sci USA*, 97(12), pp. 6832-6837.
ALLISON, T.; McCARTHY, G.; NOBRE, A. C.; PUCE, A. & BELGER, A. (1994). Human extrastriate visual cortex and the perception of faces, words, numbers and colors. *Cerebral Cortex*, 5, pp. 544-554.
ALLISON, T.; PUCE, A.; SPENCER, D.D & McCARTHY, G. (1999). Electrophysiological studies of human face perception. I: Potentials generated in occipitotemporal cortex by face and non-face stimuli. *Creb Cortex*, 9(5), pp. 415-430.
ALTMANN, G. T. (2002). Statistical learning in infants. *Proc Natl Acad Sci USA*, 99(24), pp. 15250-15251.
ANS, B.; CARBONNEL, S. & VALDOIS, S. (1998). A connectionist multiple-trace memory model for polysyllabic word reading. *Psychol Rev*, 105(4), pp. 678-723.
ARGUIN, M.; FISET, S. & BUB, D. (2002). Sequential and parallel letter processing in letter-by-letter dyslexia. *Cognitive Neuropsychology*, 19, pp. 535-555.
ATRAN, S. (1990). *Cognitive Foundations of Natural History*. New York and Cambridge , UK: Cambridge, University Press.
ATRAN, S. (2002). *In Gods we Trust: The evolutionary landscape of religion*. New York: Oxford University Press.
ATRAN, S.; MEDIN, D. L & ROSS, N. O. (2005). The cultural mind: environmental decision making and cultural modeling within and across populations. *Psychol Rev*, 112(4), pp. 744-776.
BAKER, C., BEHRMANN, M. & OLSON, C. (2002). Impact of learning on representation of parts and wholes in monkey inferotemporal cortex. *Nat Neurosci*, 5(11), pp. 1210-1216.
BAYLIS, G. C. & DRIVER, J. (2001). Shape-coding in IT cells generalizes over contrast and mirror reversal, but not figure-ground reversal. *Nat Neurosci*, 4(9), pp. 937-942.
BEALE, I. L.; WILLIAMS, R. J.; WEBSTER, D. M. & CORBALLIS, M. C. (1972), Confusion of mirror images by pigeons and interhemispheric commissures. *Nature*, 238(5363), pp. 348-349.

BEAUCHAMP, M. S.; LEE, K. E.; ARGALL, B. D. & MARTIN, A. (2004). Integration of auditory and visual information about objects in superior temporal sulcus. *Neuron*, 41(5), pp. 809-823.
BEAULIEU, C.; PLEWES, C.; PAULSON, L. A.; ROY, D.; SNOOK, L.; CONCHA, L. & PHILLIPS, L. (2005). Imaging brain connectivity in children with diverse reading ability. *Neuroimage*, 25(4), pp. 1266-1271.
BELLENGER, L. (1980). *Les Méthodes de lecture* (2nd édition). Paris: Presses Universitaires de France.
BENASICH, A. A. & TALLAL, P. (2002). Infant discrimination of rapid auditory cues predicts later language impairment. *Behav Brain Res*, 136(1), pp. 31-49.
BENTIN, S.; MOUCHETANT-ROSTAING, Y.; GIARD, M. H.; ECHALLIER, J. F. & PERNIER, J. (1999). ERP manifestations of processing printed words at different psycholinguistic levels: time course and scalp distribution. *J Cog Neurosci*, 11, pp. 235-260.
BERLIN, B. (1992). *Etnobiological Classification: Principles of categorization of plants and animals in traditional societies*. Princeton, N. I.: Princeton University Press.
BESNER, D. (1989). On the role of outline shape and word-specific visual pattern in the identification of function words: NONE. *Q J Exp Psychol* A, 41, pp. 91-105.
BIANCHI, L. (1921). *La mécanique de cerveau et la fonction des lobes frontaux*. Paris: Louis Arnette.
BIEDERMAN, I. (1978). Recognition-by-components: a theory of human image understanding. *Psychol Rev*, 94(2), pp. 115-147.
BIEDERMAN, I. & BAR, M. (1999). One-shot viewpoint invariance in matching novel objects. *Vision Res*, 39(17), pp. 2885-2899.
BIEDERMAN, I. & COOPER, E. E. (1991). Evidence for complete translational and reflectional invariance in visual object priming. *Perception*, 20(5), pp. 585-593.
BINDER, J. R.; FROST, J. A.; HAMMEKE, T. A.; BELLGOWAN, P. S.; RAO, S. M. & COX, R. W. (1999). Conceptual processing during the conscious resting state. A functional MRI study. *J Cogn Neurosci*, 11(1), pp. 80-95.
BINDER, J. R., FROST, J. A., HAMMEKE, T. A., BELLGOWAN, P. S., SPRINGER, J. A., KAUFMAN, J. N. & POSSING, E. T. (2000). Human temporal lobe activation by speech and nonspeech sounds. *Cereb Cortex*, 10(5), pp. 512-528.
BINDER, J. R., McKIERNAN, K. A., PARSONS, M. E., WESTBURY, C. F., POSSING, E. T.; KAUFMAN, J. N. & BUCHANAN, L. (2003). Neural correlates of lexical access during visual word recognition. *J Cong Neurosci*, 15(3), pp. 372-393.
BINDER, J. R.; MEDLER, D. A.; WESTBURY, C. F.; LIEBENTHAL, E. & BUCHANAN, L . (2006). Tuning of the human left fusiform gyrus to sublexical orthographic structure. *Neuroimage*, 33(2), pp. 739-748.
BINDER, J. R. & MOHR, J. P. (1992). The topography of callosal reading pathways. A case-control analysis. *Brain*, 115, pp. 1807-1826.
BITAN, T. & KARNI, A. (2003). Alphabetical knowledge from whole words training: effects of explicit instruction and implicit experience on learning script segmentation. *Brain Res Cong Brain Res*, 16(3), pp. 323-337.
BLACKMORE, S. J. (1999). *The Meme Machine*. New York: Oxford University Press.
BOKDE, A. L.; TAGAMETS, M. A.; FRIEDMAN, R. B. & HORWITZ, B. (2001). Functional interactions of the inferior frontal cortex during the processing of words and word-like stimuli. *Neuron*, 30(2), pp. 609-617.
BONIN, P.; FAYOL, M. & PEEREMAN, R. (1998). Masked form priming in writing words from pictures: evidence for direct retrieval of orthographic codes. *Acta Psychol* (Amst), 99(3), pp. 311-328.